



TESIS - RG 092999

ANALISA PERUBAHAN POLA ALIRAN SUNGAI DAN DAERAH GENANGAN DI PANTAI SURABAYA- SIDOARJO MENGGUNAKAN CITRA SATELIT PENGINDERAAN JAUH

REGINA VERRA SANTIARA YAHYA PUTRI
3512 201 902

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Bangun M.S., DEA, DESS
Erma Suryani, ST., MT., Ph.D

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOINFORMASI
JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014**



THESIS - RG 092999

ANALYSIS OF RIVER FLOW PATTERN AND PUDDLE AREA CHANGES ALONG THE COASTAL AREA OF SURABAYA SIDOARJO USING REMOTE SENSING SATELLITE IMAGE

REGINA VERRA SANTIARA YAHYA PUTRI
3512 201 902

Supervisor
Prof. Dr. Ir. Bangun M.S., DEA, DESS
Erma Suryani, ST., MT., Ph.D

MASTER PROGRAM
GEOINFORMATION EXPERTISE
GEOMATIC ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2014

**ANALISA PERUBAHAN POLA ALIRAN SUNGAI DAN DAERAH
GENANGAN DI PANTAI SURABAYA-SIDOARJO MENGGUNAKAN
CITRA SATELIT PENGINDERAAN JAUH**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)**

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Regina Verra Santiara Yahya Putri
NRP. 3512 201 902**

Tanggal Ujian : 15 Juli 2014

Periode Wisuda : September 2014

Disetujui oleh :

.....
1. **Prof. Dr. Ir. Bangun M.S., DEA, DESS**
NIP: 19590124 198601 1 001

(Pembimbing I)

.....
2. **Erma Suryani, ST., MT., Ph.D**
NIP: 19700427 200501 2 001

(Pembimbing II)

.....
3. **Prof. Dr. Ir. Bangun M.S., DEA, DESS**
NIP: 19590124 198601 1 001

(Penguji)

.....
4. **Dr. Ir. Muhammad Taufik**
NIP: 19550919 198603 1 001

(Penguji)

.....
5. **Ira Mutiara A. ST., M. Phil, Ph. D**
NIP: 19781231 200212 2 001

(Penguji)



Direktur Program Pasca Sarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT

NIP. 19640405 199002 1 001

ANALISA PERUBAHAN POLA ALIRAN SUNGAI DAN DAERAH GENANGAN DI PANTAI SURABAYA-SIDOARJO MENGGUNAKAN CITRA SATELIT PENGINDERAAN JAUH

Nama Mahasiswa : Regina Verra Santiara Yahya Putri
NRP : 3512 201 902
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo S, DEA,DESS
Co-Pembimbing : Erma Suryani, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Berdasarkan letak geografisnya, kawasan pesisir Surabaya-Sidoarjo merupakan salah satu daerah rawan genangan dengan ketinggian yang hampir sejajar dengan permukaan air laut rata-rata. Selain aspek ketinggian wilayah, perubahan tutupan lahan pada suatu daerah tangkapan air juga akan sangat mempengaruhi karakteristik hidrologi. Faktor penyebab terjadinya genangan dan banjir adalah intensitas curah hujan lebih besar daripada perhitungan dalam perencanaan drainase dan intensitas hujan sesuai dengan perencanaan akan tetapi limpasan air hujan tidak mampu ditampung oleh sistem drainase yang ada. Selain peristiwa lumpur Lapindo yang dapat menyebabkan kerusakan sistem drainase, pembangunan Jembatan Suramadu juga dimungkinkan dapat mengganggu pola aliran sungai di sepanjang pantai Surabaya-sidoarjo. Analisa spasial dengan citra satelit penginderaan jauh dan model sistem dinamik dapat digunakan untuk mendapatkan prediksi daerah rawan genangan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Daerah pesisir Surabaya di dominasi oleh pola aliran Paralel, sedangkan Daerah pesisir Sidoarjo lebih di dominasi oleh pola aliran sungai Dendritik. Pola aliran sungai dari tahun 2009 hingga 2013 relatif tetap. Berdasarkan tingkat kerawannya kawasan pesisir Surabaya Sidoarjo didominasi kelas genangan sangat rawan. Hal ini terjadi karena persebaran hujan dengan intensitas yang tinggi di daerah tersebut yaitu 1452 mm hingga lebih dari 1740 mm. Sehingga mengindikasikan bahwa selain tutupan lahan, curah hujan juga cukup mempengaruhi tingkat kerawanan daerah genangan. Pada tahun 2009-2013, terjadi perubahan limpasan debit air yang melebihi debit eksisting. Sub DAS Jomblong memiliki peningkatan jumlah debit limpasan sebesar $3.79 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka dapat diperkirakan sekitar 230.80 Hektar lahan akan tergenang di daerah rawan tersebut. Hal ini berbanding lurus dengan peningkatan daerah sangat rawan genangan berdasarkan pengolahan citra satelit Landsat-7 ETM+ tahun 2009 dan Landsat 8 tahun 2013, yaitu sebesar 245.40 Ha. Sub DAS Jomblong memiliki nilai koefisien limpasan yang tinggi yaitu 0.592 yang disebabkan karena penambahan jumlah luas pemukiman di daerah penelitian selama tahun 2009-2013 sebesar 1755.92 Ha. Apabila kondisi seperti ini tetap sama, maka dapat diprediksikan bahwa luas daerah genangan akan semakin bertambah di masa yang akan datang.

Sedangkan untuk Sub DAS Greges, memiliki pengurangan nilai debit limpasan air sebesar 8.36 m³/detik atau seluas 1506.7 Hektar dari daerah rawan genangan berkurang dalam rentang waktu 2009-2013. Meskipun terjadi penurunan daerah genangan, Sub DAS Greges tetap menjadi daerah rawan genangan karena memiliki nilai debit limpasan yang melebihi debit eksistingnya.

Berdasarkan pemodelan sistem dinamik, Sub DAS Greges dan Jomblong memiliki nilai genangan yang tinggi di bulan basah hingga 2 tahun ke depan. Hal ini disebabkan karena tingginya curah hujan, rendahnya nilai penguapan, perubahan tutupan lahan dan rendahnya kemampuan sistem drainase dalam menampung limpasan air hujan. Berdasarkan skenario yang dilakukan untuk mengurangi nilai genangan, baik Sub DAS Jomblong maupun Sub DAS Greges perlu adanya perencanaan kapasitas atau dimensi baru saluran serta penambahan daerah retensi untuk menambah kemampuan dalam menampung limpasan air.

Kata Kunci : Daerah rawan genangan, pola aliran sungai, Sub DAS, model sistem dinamik, citra satelit penginderaan jauh

ANALYSIS OF RIVER FLOW PATTERN AND PUDDLE AREA CHANGES ALONG THE COASTAL AREA OF SURABAYA SIDOARJO USING REMOTE SENSING SATELLITE IMAGE

Name : Regina Verra Santiara Yahya Putri
NRP : 3512 201 902
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo S, DEA,DESS
Co-Supervisor : Erma Suryani, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

Based on the geographical location, the coastal region of Surabaya-Sidoarjo is one of the low areas prone to inundation with a height that is almost parallel to the surface of the mean sea level. In addition to aspects of altitude regions, land cover changes in a catchment area will also greatly affect the hydrological aspects. Factors causing inundation and flooding are rainfall intensity is greater than the calculation in planning drainage and rainfall intensity in accordance with the planning but rainwater runoff is not able to be accommodated by the existing drainage system. In addition to events Lapindo mud that can damage the drainage system, also made possible the construction of bridges Suramadu can disrupt the flow pattern of the river along the coast of Surabaya-Sidoarjo. Analysis of spatial remote sensing satellite imagery and dynamic system models can be used to obtain predictions of inundation-prone areas.

The results of this study indicate that the northern coastal area of Surabaya to Sidoarjo is dominated by parallel flow pattern, while the coastal area of Sidoarjo more dominated by dendritic stream pattern. The pattern of stream flow from 2009 to 2013 are relatively fixed. Based on the risks assessment Sidoarjo Surabaya coastal area is dominated by very prone to inundation class. This happens because of the spread of high-intensity rainfall in the area. The high-intensity rainfall in the area are 1452 mm and more than 1740 mm. Thus indicating that in addition to land cover, rainfall is also quite affecting vulnerability inundation area.

In 2009 and 2013, there's a change in discharge water runoff that exceeds the existing discharge. Jomblong Sub watershed have an increased amount of runoff discharge $3.79 \text{ m}^3/\text{second}$, so it can be estimated at about 230.80 hectares of land will be flooded in the vulnerable areas. It is directly proportional to the increase in area that very prone to inundation by processing satellite images of Landsat-7 ETM + in 2009 and Landsat 8 in 2013, amounting to 245.40 ha. Jomblong Sub watershed has a high runoff coefficient is 0.592, It's because the addition of an extensive number of settlements in the study area during 2009-2013 amounted to 1755.92 hectares. If this condition remains the same, it can be predicted that widespread inundation area will be growing in the future.

As for the Greges sub watershed, has reduced value of the water run off discharge about 8.36 m³/second or an area of 1506.7 hectares of inundation-prone areas is reduced in the 2009-2013 timeframe. Despite the decrease in flood areas, Greges Sub watershed remains the inundation-prone areas because it has a value of the discharge runoff that exceeds the existing with the runoff of coefficient about 0.579.

Based on the modeling of dynamic systems, Greges and Jomblong Sub-watershed has a puddle of high value in the wet months to 2 years forward. This is due to the high rainfall, low evaporation values, changes in land cover and low capacity of the channel/drainage system to accommodate storm water runoff. Based on a scenario made to reduce the value of inundation, each two sub watersheds need for capacity planning or adding a new dimension to the channel as well as the retention area to increase the ability to accommodate water runoff.

Keyword : Puddle area, river flow patterns, sub-watershed, the model dynamic systems, satellite remote sensing imagery

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena atas ridho dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini untuk memenuhi persyaratan kelulusan magister pada Program Studi Magister Teknik Geomatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sholawat serta salam penulis tujukan kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga penulis tercinta atas curahan kasih sayang, doa dan dukungan secara moril maupun materil kepada penulis.
2. Bapak Prof.Dr.Ir. Bangun Muljo S, DEA, DESS selaku dosen pembimbing atas kritik, saran dan motivasinya.
3. Ibu Erma Suryani, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing atas kritik, saran dan motivasinya.
4. Bapak Dr.Ir. Teguh Harijanto, M.Sc selaku dosen wali.
5. Bapak Dr.Ir. Teguh Harijanto, M.Sc selaku Ketua Prodi Magister Teknik Geomatika ITS.
6. Bapak Dr.Ir. Muhammad Taufik selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
7. Bapak Prof.Dr.Ir. Adi Soeprijanto, MT selaku Direktur Program Pasca Sarjana ITS.
8. Seluruh staf pengajar yang telah membimbing dan memberikan materi perkuliahan kepada penulis.
9. Seluruh sahabat penulis, teman-teman G11 dan GK 44 yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat.
10. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis merasa masih menemui beberapa kendala maka dari itu penulis mengharapkan saran dari semua pihak.

Sebagai penutup, inilah karya yang dapat penulis berikan dalam Tesis ini. Penulis berharap keberadaan Tesis ini bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya bidang Geomatika.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Manfaat Penulisan	3
1.5 Batasan Masalah	4
 BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Karakteristik Kawasan Pantai Surabaya-Sidoarjo	5
2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)	6
2.2.1 Pola Aliran Sungai	8
2.2.2 Daerah Genangan	9
2.3 Penginderaan Jauh	11
2.4 Pengolahan Citra Penginderaan Jauh	12
2.5 Citra Satelit Penginderaan Jauh	15
2.5.1 Karakteristik Citra Landsat-7 ETM+	15
2.5.2 Karakteristik Citra Landsat 8	17
2.6 Metode Rasional	18

2.6.1 Intensitas Curah Hujan	18
2.6.2 Waktu Konsentrasi	19
2.6.3 Koefisien Limpasan	19
2.7 Model Sistem Dinamik	21
2.8 Penelitian Terdahulu	23
 BAB 3 METODA PENELITIAN	
3.1 Lokasi Penelitian	25
3.2 Alat dan Data	25
3.3 Metodologi Penelitian	26
3.3.1 Tahap Pengolahan Data	26
3.3.2 Tahap Akhir	29
 BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pengolahan Citra Satelit	31
4.1.1 Klasifikasi Tutupan Lahan	34
4.1.2 Ketelitian Klasifikasi	37
4.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)	39
4.3 Curah Hujan	42
4.3.1 Curah Hujan Harian Maksimum	42
4.3.2 Analisa Frekuensi Curah Hujan	44
4.3.3 Penentuan Pola Distribusi Hujan	46
4.3.4 Pengujian Kecocokan Jenis Distribusi	47
4.3.5 Perhitungan Intensitas Hujan	49
4.4 Jenis Tanah	51
4.5 <i>Overlay</i> dan Skoring	53
4.6 Perhitungan Debit Maksimum	54
4.7 Hasil dan Analisa	56
4.7.1 Daerah Rawan Genangan dengan Pembobotan	56
4.7.2 Daerah Rawan Genangan dengan Metode Rasional	59
4.8 Perbandingan dengan Data Riwayat Genangan	64

4.9 Perubahan Pola Aliran	67
4.10 Pemodelan Sistem Dinamik Daerah Genangan	68
4.10.1 Pendefinisian Masalah dan Tujuan Model	69
4.10.2 Pembuatan <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD)	71
4.10.3 Pembuatan Diagram Simulasi	72
4.10.4 Hasil Simulasi Model Dasar (<i>Base Model</i>)	72
4.10.5 Validasi Model	75
4.10.6 Pengembangan Skenario	75
4.10.6.1 Pengembangan Skenario pada Sub DAS Greges	76
4.10.6.2 Pengembangan Skenario pada Sub DAS Jomblong	79
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	85
 DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	93

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skor dan Pembobotan Parameter Banjir	10
Tabel 2.2 Karakteristik Citra Satelit Landsat ETM+	16
Tabel 2.3 Karakteristik Saluran Citra Satelit Landsat TM	16
Tabel 2.4 Karakteristik Citra Satelit Landsat 8	17
Tabel 2.5 Koefisien Limpasan (C) menurut Metode Rasional	20
Tabel 4.1 Karakteristik Level Landsat-7 ETM+	31
Tabel 4.2 Karakteristik Level Landsat 8	31
Tabel 4.3 Jenis dan Luas Tutupan Lahan pada Pesisir Surabaya-Sidoarjo tahun 2009	34
Tabel 4.4 Jenis dan Luas Tutupan Lahan pada Pesisir Surabaya-Sidoarjo tahun 2013	35
Tabel 4.5 Selisih Jenis dan Luas Tutupan Lahan pada Pesisir Surabaya-Sidoarjo tahun 2009-2013	36
Tabel 4.6 Perhitungan <i>Confusion Matrix</i> Citra Landsat 7 ETM+ tahun 2009	38
Tabel 4.7 Perhitungan <i>Confusion Matrix</i> Citra Landsat 8 tahun 2013	38
Tabel 4.8 Pembagian Sub DAS dan Luas Area di Kabupaten Sidoarjo	40
Tabel 4.9 Pembagian Sub DAS dan Luas Area di Kota Surabaya	41
Tabel 4.10 Data Curah Hujan Maksimum Periode 2009	43
Tabel 4.11 Data Curah Hujan Maksimum Periode 2013	43
Tabel 4.12 Analisa Frekuensi Curah Hujan Periode 2009	44
Tabel 4.13 Analisa Frekuensi Curah Hujan Periode 2013	46
Tabel 4.14 Parameter Statistik Analisis Frekuensi Periode 2009 dan 2013	46
Tabel 4.15 Perbandingan Syarat Distribusi dan Hasil Perhitungan	47
Tabel 4.16 Perhitungan Uji <i>Chi-Kuadrat</i> Periode 2009	48
Tabel 4.17 Perhitungan Uji <i>Chi-Kuadrat</i> Periode 2013	48
Tabel 4.18 Perhitungan Curah Hujan Maksimum Periode 2009	50
Tabel 4.19 Perhitungan Curah Hujan Maksimum Periode 2013	50
Tabel 4.20 Nilai Intensitas Hujan Maksimum Periode 2009	50

Tabel 4.21 Nilai Intensitas Hujan Maksimum Periode 2013	51
Tabel 4.22 Jenis tanah serta luasannya dalam Hektar dan persen	51
Tabel 4.23 Parameter Daerah Rawan Genangan dan Nilai	53
Tabel 4.24 Koefisien Limpasan tiap Sub DAS	54
Tabel 4.25 Perhitungan Debit Maksimum Periode 2009	55
Tabel 4.26 Perhitungan Debit Maksimum Periode 2013	55
Tabel 4.27 Data Debit Maksimum Eksisting	56
Tabel 4.28 Luas Daerah Genangan Berdasarkan Tingkat Kerawanan	56
Tabel 4.29 Data Riwayat Genangan dan Kelas Genangan tahun 2009	65
Tabel 4.30 Data Riwayat Genangan Pesisir Sidoarjo	67
Tabel 4.31 Tujuan Model dan Variabel yang Mempengaruhi	70
Tabel 4.32 Perbandingan Rata-Rata	75
Tabel 4.33 Variasi Amplitudo	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sungai Dendritik (tim geografi dalam Ardi, 2010)	8
Gambar 2.2 Sungai Trellis (tim geografi dalam Ardi, 2010)	8
Gambar 2.3 Sungai Annular (tim geografi dalam Ardi, 2010)	9
Gambar 2.4 Sungai Centripetal (tim geografi dalam Ardi, 2010)	9
Gambar 2.5 Sistem Penginderaan Jauh (Purwadhi, 2001)	12
Gambar 2.6 Proses dalam Pemodelan Sistem Dinamik (Sterman, 2000)	21
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Pemerintah Provinsi Jawa Timur, 2013)	25
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Data	27
Gambar 4.1 Grafik Perbedaan Panjang Gelombang Citra Satelit Landsat-7 ETM+ dan Landsat 8 (USGS, 2013)	33
Gambar 4.2 Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan Pesisir Surabaya-Sidoarjo 2009	34
Gambar 4.3 Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan Pesisir Surabaya-Sidoarjo 2013	35
Gambar 4.4 Grafik Luas Tutupan Lahan	36
Gambar 4.5 Pembagian Sub-DAS dan Lokasi Stasiun Hujan di Kab. Sidoarjo (DPU Pengairan Kab. Sidoarjo)	41
Gambar 4.6 Pembagian Sub-DAS dan Lokasi Stasiun Hujan di Kota Surabaya (BPDAS dan DPU Pengairan Provinsi Jatim)	42
Gambar 4.7 Jenis Tanah Kawasan Pesisir Surabaya-Sidoarjo	52
Gambar 4.8 Grafik Luas Daerah Rawan Genangan	57
Gambar 4.9 Prediksi Daerah Rawan Genangan Tahun 2009 (Kiri) dan Tahun 2013 (Kanan)	59
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Debit Eksisting dengan Hasil Perhitungan tahun 2009 dan 2013	60
Gambar 4.11 Daerah Rawan Genangan Berdasarkan Metode Rasional	64
Gambar 4.12 Data Riwayat Genangan Pesisir Surabaya	65
Gambar 4.13 Pola Aliran Pesisir Surabaya (Kiri) dan Sidoarjo (Kanan)	68
Gambar 4.14 <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD)	71
Gambar 4.15 Diagram Simulasi Pengujian	72

Gambar 4.16 Grafik Simulasi Model Dasar Genangan di Sub DAS Greges	73
Gambar 4.17 Grafik Simulasi Model Dasar Genangan di Sub DAS Jomblong	74
Gambar 4.18 Grafik Simulasi Skenario 1 Genangan di Sub DAS Greges	76
Gambar 4.19 Grafik Simulasi Skenario 2 Genangan di Sub DAS Greges	77
Gambar 4.20 Grafik Simulasi Skenario 3 Genangan di Sub DAS Greges	78
Gambar 4.21 Grafik Simulasi Skenario 1 Genangan di Sub DAS Jomblong	79
Gambar 4.22 Grafik Simulasi Skenario 2 Genangan di Sub DAS Jomblong	80
Gambar 4.23 Grafik Simulasi Skenario 3 Genangan di Sub DAS Jomblong	81

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan letak geografisnya, kawasan pesisir Surabaya-Sidoarjo merupakan salah satu daerah dataran rendah rawan genangan dengan ketinggian yang hampir sejajar dengan permukaan air laut rata-rata atau *Mean Sea Level* (MSL). Genangan termasuk dalam suatu kondisi alam yang disebabkan dari beberapa faktor, salah satunya genangan yang diakibatkan karena limpasan air hujan.

Selain itu, tutupan lahan suatu kawasan juga mempengaruhi kondisi hidrologi kawasan tersebut begitu juga sebaliknya (Suryani, 2005). Perubahan tutupan lahan pada suatu daerah tangkapan air akan sangat mempengaruhi karakteristik hidrologi. Perubahan karakteristik hidrologi akibat perubahan tutupan lahan antara lain adalah erosi, debit banjir, dan infiltrasi (Edi, 2012). Munadhir dalam Susilowati (2006) menjelaskan bahwa penyebab terjadinya genangan dan banjir adalah intensitas curah hujan lebih besar daripada perhitungan dalam perencanaan drainase dan intensitas hujan sesuai dengan perencanaan akan tetapi limpasan air hujan tidak mampu ditampung oleh sistem drainase yang ada. Untuk penyebab yang kedua dapat disebabkan karena kerusakan sistem drainase akibat peristiwa seperti lumpur Lapindo di daerah Sidoarjo. Semburan lumpur Lapindo yang telah merusak sistem drainase daerah tersebut secara tidak langsung menyebabkan berkurangnya infiltrasi. Sehingga dapat dikatakan akan memperbanyak daerah yang tergenang jika terjadi peresapan air yang tidak maksimal.

Peristiwa semburan lumpur Lapindo yang terjadi sejak delapan tahun silam memberikan dampak nyata bagi lingkungan di area semburan tersebut. Berdasarkan data dan fakta tragedi semburan lumpur Lapindo (Taufik, 2013), ada tiga kecamatan yang terendam lumpur. Tiga kecamatan tersebut antara lain Kecamatan Porong meliputi Desa Jatirejo, Siring, Renokenongo dan Mindi,

Kecamatan Jabon meliputi Desa Pejarakan, Kedungcangkring dan Besuki, dan Kecamatan Tanggulangin meliputi Desa Kedungbendo, Ketapang dan Kalitengah. Semburan lumpur Lapindo yang merendam tiga kecamatan tersebut menyebabkan terjadinya perubahan penggunaan lahan yang salah satunya ditandai dengan kerusakan infrastruktur. Efek kerusakan yang ditimbulkannya luar biasa. Berdasarkan laporan resmi pemerintah pada Maret 2007, semburan lumpur panas itu menghancurkan hampir 10.500 rumah penduduk, 413 hektar sawah, 33 bangunan sekolah, dan 65 rumah ibadah. Selain itu 7,762 hektar tambak rusak berat dan sekitar 1.650 ternak mati. Semburan tersebut juga merusak infrastruktur penting seperti jalan tol, rel kereta api, jaringan listrik, jaringan telepon, saluran irigasi, sistem drainase. Akibat semburan lumpur panas, lebih dari 31 perusahaan yang berada di sekitar lokasi terpaksa tutup dan 2.441 buruh kehilangan pekerjaan (Anonim, 2013).

Selain peristiwa lumpur Lapindo, pembangunan Jembatan Suramadu di pesisir Surabaya juga dimungkinkan dapat mengganggu pola aliran sungai di sepanjang pantai Surabaya-sidoarjo. Untuk itu perlu dilakukan analisis perubahan pola aliran sungai dan daerah rawan genangan di Pantai Surabaya-Sidoarjo.

Analisa spasial dapat digunakan untuk mendapatkan pola aliran sungai dan daerah rawan genangan. Analisa spasial dilakukan dengan menggunakan beberapa tipe data spasial yaitu: citra satelit penginderaan jauh untuk memetakan tutupan lahan dan peta-peta tematik untuk melihat konfigurasi bentang lahan.

Kemudian dilakukan pemodelan terhadap daerah rawan genangan di lokasi penelitian dengan mengacu pada riwayat genangan masa lalu dan masa kini. Pemodelan yang digunakan adalah pemodelan sistem dinamik. Pada dasarnya pemodelan ini menggunakan hubungan sebab-akibat (*causal*) dalam menyusun model suatu sistem yang kompleks sebagai dasar dalam mengenali dan memahami tingkah laku dinamis sistem tersebut. Model sistem dinamik dapat memberikan prakiraan yang lebih handal daripada model statistik (Axella, 2012). Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu mendapatkan suatu pemodelan prakiraan genangan yang tepat di masa mendatang.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan beberapa permasalahan pada penelitian ini :

1. Bagaimana hasil pengolahan Citra Satelit Landsat-7 ETM+ tahun 2009 dan Citra Satelit Landsat 8 tahun 2013 serta data-data pendukung lainnya untuk mengetahui daerah rawan genangan.
2. Bagaimana perubahan pola aliran sungai di kawasan Pantai Surabaya-Sidoarjo.
3. Bagaimana prediksi ke depan daerah rawan genangan dengan mengacu riwayat genangan masa lalu dan kini.

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan dari penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis hasil pengolahan Citra Satelit Landsat-7 ETM+ tahun 2009 dan Citra Satelit Landsat 8 tahun 2013 serta data-data pendukung lainnya untuk mengetahui daerah rawan genangan.
2. Menganalisis perubahan pola aliran sungai di kawasan Pantai Surabaya-Sidoarjo.
3. Memprediksi ke depan daerah rawan genangan dengan mengacu riwayat genangan masa lalu dan kini.

1.4 Manfaat Penulisan

Manfaat penulisan dari penelitian ini yaitu :

1. Memberikan informasi dan bahan masukan penetapan kebijakan dalam merencanakan pembangunan yang lebih baik di masa yang akan datang ditinjau dari aspek hidrologi.
2. Menambah wawasan kepada pembaca pada khususnya dan masyarakat pada umumnya dengan terwujudnya suatu artikel ilmiah yang berkenaan dengan perubahan pola aliran sungai dan daerah rawan genangan di Pantai Surabaya-Sidoarjo menggunakan citra satelit penginderaan jauh.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Penelitian ini dilakukan di Pantai Surabaya-Sidoarjo.
2. Citra satelit penginderaan jauh yang digunakan adalah Citra Satelit Landsat-7 ETM+ tahun 2009 dan Citra Satelit Landsat 8 tahun 2013. Citra satelit ini digunakan untuk mendapatkan tutupan lahan tahun 2009 dan 2013.
3. Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) daerah penelitian untuk perhitungan daerah rawan genangan dan mengetahui pola aliran sungai.
4. Parameter yang digunakan untuk menentukan daerah rawan genangan di lokasi penelitian adalah tutupan lahan, curah hujan, jenis tanah dan DAS.
5. Hasil penelitian berupa analisa pola aliran sungai dan daerah rawan genangan serta prediksi ke depannya menggunakan pemodelan sistem dinamik.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Karakteristik Kawasan Pantai Surabaya-Sidoarjo

Kawasan pesisir dan laut di Provinsi Jawa Timur secara umum dikelompokkan menjadi kawasan pesisir utara, pesisir timur dan pesisir selatan. Surabaya dan Sidoarjo merupakan salah satu wilayah yang termasuk dalam kawasan pesisir utara Jawa Timur. Pesisir pantai utara umumnya berdataran rendah dengan ketinggian yang hampir sama dengan permukaan air laut. Pesisir pantai utara dikenal sebagai daerah cekungan yang mengalami penurunan pada zaman Oligo-Miosen (Asikin dalam Salahuddin, 2011). Pada bagian utara Jawa Timur terdapat dua cekungan yang memiliki tatanan stratigrafi yang berbeda. Kedua cekungan itu adalah Cekungan Kendeng dan Cekungan Rembang. Cekungan kendeng terletak di sebelah selatan, umumnya mengandung kadar batuan vulkanik yang tinggi dengan sedikit sisipan-sisipan batu karbonat. Sedangkan Cekungan Rembang merupakan cekungan paparan. Sedimen-sedimen pada Cekungan Rembang memperlihatkan kadar pasirnya yang tinggi disamping adanya peningkatan batuan karbonat serta menghilangnya endapan vulkanik (Salahuddin, 2011).

Kawasan pantai adalah kawasan yang secara topografi merupakan dataran rendah dan dilihat secara morfologi berupa dataran pantai. Secara umum, keadaan topografi daerah Pantai Surabaya memiliki ketinggian berkisar antara 1-3 meter di atas permukaan laut. Pantai Surabaya-Sidoarjo termasuk kawasan Pantai Utara Jawa Timur, dimana memiliki ciri-ciri kemiringan lahan yang hampir nol (Badan Lingkungan Hidup, 2012).

Secara geologi, batuan penyusun dataran pantai umumnya berupa endapan alluvial yang terdiri dari lempung, pasir dan kerikil dari pengangkutan dan erosi batuan di bagian hulu sungai. Umumnya batuan di dataran ini bersifat kurang kompak, sehingga potensi air tanahnya cukup baik. Air tanah merupakan salah satu fase air dalam siklus hidrologi, dimana air terkandung dalam pori, rekahan, celah

ataupun rongga di dalam batuan. Air tanah yang terdapat pada lapisan pembawa air disebut akuifer. Akuifer di dataran pantai yang baik umumnya berupa akuifer tertekan, tetapi akuifer bebas pun dapat menjadi sumber air tanah yang baik terutama pada daerah–daerah pematang pantai. Intrusi air laut di daerah pantai merupakan suatu proses penyusunan air asin dari laut ke dalam air tanah tawar di daratan (Badan Lingkungan Hidup, 2012).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh *Dinas Pertanian dan Perkebunan Sidoarjo*, 1998, wilayah timur Sidoarjo (sekitar pantai) mempunyai jenis tanah *aluvial hidromorf*, yang dicirikan oleh air tanah dangkal. Tanah ini merupakan hasil endapan muara sungai, sehingga bertekstur lempung berlumpur. Di bagian tengah terdapat dua jenis tanah, yakni *aluvial kelabu* yang bertekstur dominan lempung bercampur dengan pasir (lempung berpasir), dan *asosiasi aluvial kelabu dan coklat keabuan* dengan bahan induk endapan lanau dan pasir atau disebut lanau berpasir. Sedangkan di sebelah barat terdapat *grumosol kelabu tua*, dengan tekstur pasir berlempung, yang merupakan hasil endapan pesisir Sungai Porong dan Sungai Mas.

2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (menurut Undang-undang No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Sub DAS adalah bagian dari DAS yang menerima air hujan dan mengalirkannya melalui anak sungai ke sungai utama. Setiap DAS terbagi habis ke dalam Sub DAS-Sub DAS.

Secara geografis, pesisir Surabaya-Sidoarjo terletak di hilir sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas yang bermuara di Selat Madura. Beberapa sungai besar yang berfungsi membawa dan menyalurkan banjir yang berasal dari hulu mengalir melintasi Kota Surabaya, antara lain Kali Surabaya dengan $Q \text{ rata2} = 26,70 \text{ m}^3/\text{detik}$, Kali Mas dengan $Q \text{ rata2} = 6,26 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan Kali Jagir dengan

$Q_{rata2} = 7,06 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sebagai daerah hilir, Kota Surabaya dengan sendirinya merupakan daerah limpahan debit air dari sungai yang melintas dan mengakibatkan terjadinya banjir pada musim penghujan (RPJMD Kota Surabaya, 2010).

Menurut Badan Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur (2014), DAS Brantas merupakan sebuah sungai terbesar di Jawa Timur dengan panjang ± 320 km yang mengalir secara melingkar dan di tengah-tengahnya terdapat gunung berapi yang masih aktif yaitu Gunung Kelud. Sungai Brantas yang bersumber pada lereng Gunung Arjuno, mula-mula mengalir ke arah timur melalui kota Malang, lalu membelok ke arah selatan. Di kota Kepanjen Kali Brantas membelok ke arah barat dan di sini Kali Lesti yang bersumber di Gunung Semeru bersatu dengan Kali Brantas. Setelah bersatu dengan Kali Ngrowo di daerah Tulungagung, Kali Brantas berbelok ke utara melalui kota Kediri. Di kota Kertosono, Kali Brantas bertemu dengan Kali Widas, kemudian ke Timur mengalir ke kota Mojokerto. Di kota ini Kali Brantas bercabang dua, ke arah kota Surabaya dan ke kota Porong yang selanjutnya bermuara di selat Madura.

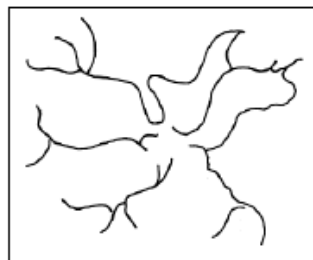
DAS Brantas berada di dalam wilayah administrasi 9 Kabupaten dan 6 Kota, yaitu: Kab. Nganjuk, Kab. Tulungagung, Kab. Malang, Kab. Blitar, Kab. Sidoarjo, Kab. Mojokerto, Kab. Jombang, Kab. Probolinggo, Kab. Lumajang, Kota Surabaya, Kota Sidoarjo, Kota Malang, Kota Blitar, Kota Kediri, dan Kota Pasuruan. DAS brantas sendiri memiliki luas lebih kurang 11.988 km^2 , yang terdiri dari 6 Sub DAS dan 32 *basin block*.

Wilayah DAS Brantas merupakan DAS strategis sebagai penyedia air baku untuk berbagai kebutuhan seperti sumber tenaga untuk pembangkit tenaga listrik, PDAM, irigasi, industri dan lain-lain. Luas Wilayah DAS yang mencakup kurang lebih 25 % luas Provinsi Jawa Timur, dengan potensi sumber daya air per tahun ± 12 milyar m^3 . DAS Brantas Hulu merupakan daerah tangkapan hujan yang kondisi sangat memprihatinkan. DAS Brantas Hulu terdiri dari sub DAS Brantas Hulu (182 Km^2), Amprong (348 Km^2), Bango (262 Km^2), Metro (309 Km^2), Lahor (188 Km^2) dan Lesti (608 Km^2).

2.2.1 Pola Aliran Sungai

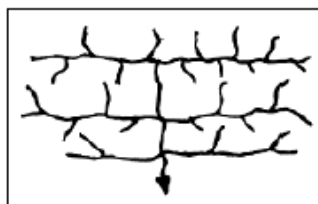
Pola aliran merupakan pola dari organisasi atau hubungan keruangan dari lembah-lembah, baik yang dialiri sungai maupun lembah yang kering atau tidak dialiri sungai. Pola aliran yang digunakan bisa dibedakan dengan membedakan garis yang dijadikan tanda pola aliran tersebut. Menurut (tim geografi dalam Ardi, 2010) macam-macam pola aliran adalah sebagai berikut.

- Dendritik: seperti percabangan pohon, percabangan tidak teratur dengan arah dan sudut yang beragam. Berkembang di batuan yang homogen dan tidak terkontrol oleh struktur, umumnya pada batuan sedimen dengan perlapisan horisontal, atau pada batuan beku dan batuan kristalin yang homogen.



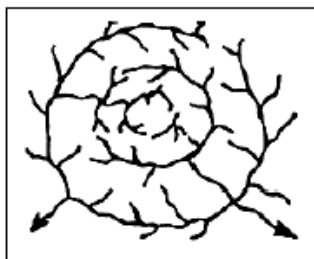
Gambar 2.1 Sungai Dendritik (tim geografi dalam Ardi, 2010)

- Trellis: percabangan anak sungai dan sungai utama hampir tegak lurus, sungai-sungai utama sejajar atau hampir sejajar. Berkembang di batuan sedimen terlipat atau terungkit dengan litologi yang berselang-seling antara yang lunak dan resisten.



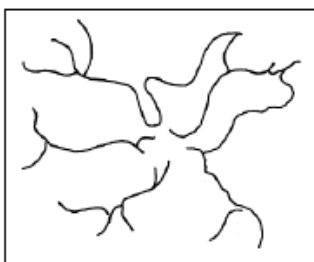
Gambar 2.2 Sungai Trellis (tim geografi dalam Ardi, 2010)

- Annular: sungai utama melingkar dengan anak sungai yang membentuk sudut hampir tegak lurus. Berkembang di *dome* dengan batuan yang berseling antara lunak dan keras.



Gambar 2.3 Sungai Annular (tim geografi dalam Ardi, 2010)

- Centripetal: sungai yang mengalir memusat dari berbagai arah. Berkembang di kaldera, karater, atau cekungan tertutup lainnya.



Gambar 2.4 Sungai Centripetal (tim geografi dalam Ardi, 2010)

2.2.2 Daerah Genangan

Menurut direktori istilah bidang pekerjaan umum (Kementrian Pekerjaan Umum, 2013), daerah genangan adalah daerah kawasan yang tergenang air akibat tidak berfungsinya sistem drainase atau juga daerah genangan alamiah yang hanya tergenang pada saat banjir. Limpasan didefinisikan bagian air yang mengalir di atas permukaan tanah. Genangan didefinisikan endapan air akibat tidak mengalirnya limpasan ke saluran pembuangan. Daerah genangan merupakan daerah yang digunakan untuk menyerap air, baik yang dari sungai maupun hujan. Komponen retensi alamiah di wilayah sungai, di sepanjang sempadan sungai dan badan sungai.

Menurut Isnugroho dalam Ardi (2010), kawasan rawan banjir (genangan) merupakan kawasan yang sering atau berpotensi tinggi mengalami bencana banjir sesuai karakteristik penyebab banjir. Daerah genangan dapat dipengaruhi oleh intensitas curah hujan, jenis tutupan lahan, kemiringan lereng, dan jenis tanah.

Dalam penelitian ini definisi genangan dibatasi pada genangan yang disebabkan oleh limpasan air yang melebihi kapasitas penyaluran sistem pengaliran air yang terdiri dari sistem sungai alamiah dan sistem drainase buatan manusia. Dari pembatasan definisi tersebut, parameter yang digunakan untuk menentukan daerah rawan genangan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Curah Hujan (Curah hujan adalah jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu),
- Jenis tanah (Jenis tanah merupakan bagian yang mempengaruhi daya serap (*infiltrasi*) air limpasan),
- Sistem Drainase (Drainase adalah lengkungan atau saluran air di permukaan atau di bawah tanah, baik yang terbentuk secara alami maupun dibuat oleh manusia),
- Tata Guna Lahan (Tata guna lahan adalah sebuah pemanfaatan lahan dan penataan lahan yang dilakukan sesuai dengan kondisi alam).

Metode yang digunakan yaitu skoring dan pembobotan dari parameter tersebut. Nilai skor dan pembobotan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2.1. Berikut ini merupakan tabel kriteria pembobotan dari setiap parameter penyebab genangan.

Tabel 2.1 Skor dan Pembobotan Parameter Banjir

Variabel	Sub Variabel	Skor	Bobot	Total
Curah Hujan	< 1452 mm/tahun	3	3	9
	1452 - 1470 mm/tahun	5		15
	1470 - 2789 mm/tahun	7		21
Jenis Tanah	Aluvial Hidromorf	7	1	7
	Aluvial Kelabu	5		5
	Aluvial Kelabu Tua	5		5
	Grumosol Kelabu Tua	9		9
Tutupan Lahan	Tambak	9	1	9
	Rawa/Hutan Mangrove	7		7
	Rumput/Tanah Kosong	5		5
	Pemukiman	6		6
	Empang	8		8

Sumber : (Primayuda (2006) dalam Suhardiman)

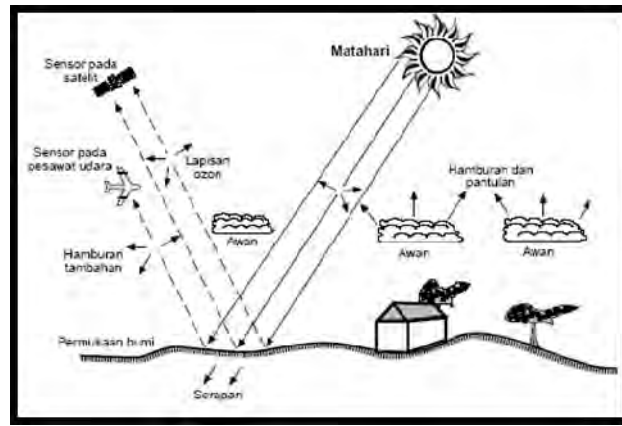
Nilai skor dan pembobotan yang diberikan didasarkan dari studi literatur yang disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Kriteria tingkat kerentanan dikategorikan dalam 4 kelas yaitu kurang rentan, rentan, sangat rentan dan genangan permanen.

2.3 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer, 1994).

Penginderaan jauh dalam lingkup luas berarti metodologi yang digunakan untuk mempelajari karakteristik objek dari jarak jauh. Teknologi karakteristik objek dari jarak jauh. Teknologi penginderaan jauh telah berkembang dengan cepat sejak manusia semakin sadar akan keseimbangan yang layak antara perkembangan sumber daya dan pemeliharaan lingkungan. Sekarang, penginderaan jauh merupakan cara yang praktis untuk memantau secara berulang dan cermat dalam pengelolaan sumber daya bumi dengan menyeluruh (Wolf, 1993).

Setiap citra satelit digital yang dihasilkan oleh sensor mempunyai sifat data yang khas, sifat tersebut dipengaruhi oleh sifat orbit satelit, kepekaan sensor terhadap panjang gelombang elektromagnetik, jalur transmisi yang digunakan, objek, dan sumber tenaga radiasinya. Sifat orbit satelit dan cara operasi sistem sensor dapat mempengaruhi resolusi dan ukuran piksel. Data penginderaan jauh dapat berupa data citra dan data non citra. Data citra antara lain data yang bersifat optik, analog, dan digital. Sedangkan data non-citra berupa grafik, diagram, dan numerik. Citra hasil rekaman sensor harus dikoreksi, antara lain dengan menggunakan koreksi radiometrik, koreksi geometrik, dan koreksi atmosferik (Purwadhi, 2001).



Gambar 2.5 Sistem Penginderaan Jauh (Purwadhi, 2001)

2.4 Pengolahan Citra Penginderaan Jauh

2.4.1 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik merupakan teknik perbaikan citra satelit untuk menghilangkan efek atmosferik yang mengakibatkan kenampakan bumi tidak selalu tajam (Supriana, 2002).

Koreksi radiometrik bertujuan untuk memperbaiki nilai piksel supaya sesuai dengan yang seharusnya dengan mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama. Efek atmosfer menyebabkan nilai pantulan obyek di permukaan bumi yang terekam oleh sensor menjadi bukan merupakan nilai aslinya, tetapi menjadi lebih besar oleh karena adanya hamburan atau lebih kecil karena proses serapan. Metode-metode yang sering digunakan untuk menghilangkan efek atmosfer antara lain metode pergeseran histogram (histogram *adjustment*), metode regresi dan metode kalibrasi bayangan.

Proses koreksi radiometrik mencakup koreksi efek-efek yang berhubungan dengan sensor untuk meningkatkan kontras (*enhancement*) setiap piksel (*picture element*) dari citra, sehingga objek yang terekam mudah diinterpretasikan atau dianalisis untuk menghasilkan data/informasi yang benar sesuai dengan keadaan lapangan.

Untuk uji ketelitian radiometrik digunakan matriks korelasi klasifikasi atau *matrix of confusion classification* adalah nilai matriks diagonalnya harus lebih besar atau sama dengan 70%. (Sukojo, 2012).

2.4.2 Perhitungan Kekuatan Jaring Kontrol (*Strength of Figure*)

Pembuatan desain jaring kontrol dilakukan sebelum melakukan koreksi geometrik pada citra. Dimana kegiatan ini bertujuan untuk menghitung kekuatan jaring dari citra tersebut. Kekuatan jaring kontrol (*Strength of Figure*) dihitung dengan menggunakan perataan parameter (Abidin, 2002).

Nilai *Strength of Figure* (SOF) yang memenuhi syarat adalah kurang dari 1, artinya semakin kecil faktor bilangan *Strength of Figure* maka semakin baik pula konfigurasi jaringan dari jaring tersebut dan sebaliknya (Abidin, 2002). Berikut ini adalah rumus persamaan untuk menghitung nilai SOF pada jaring control di citra.

$$\text{Strength of Figure} = \frac{\text{trace}(A^T A)^{-1}}{U} \quad (2.1)$$

Dimana :

U : Jumlah parameter yang dipengaruhi oleh jumlah titik control yang digunakan.

Trace : Jumlah elemen diagonal dari suatu matrik.

2.4.3 Koreksi Geometrik

Menurut Supriana (2002), koreksi geometrik merupakan proses memposisikan citra sehingga cocok dengan koordinat peta dunia yang sesungguhnya. Ada beberapa cara dalam pengoreksian ini, antara lain triangulasi, polinomial, orthorektifikasi dengan menggunakan titik-titik kontrol lapangan (*ground control point*), proyeksi peta ke peta, dan registrasi titik yang telah diketahui (*known point registration*).

Hasil dari koreksi geometrik adalah nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dimana untuk uji ketelitian geometrik nilai kesalahan RMS rata-rata citra adalah harus lebih kecil atau sama dengan 1 (satu) piksel (Sukojo, 2012).

Dengan rumus RMSE adalah :

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum (X_{data.i} - X_{check.i})^2}{n}} \quad (2.2)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{data.i} - Y_{check.i})^2}{n}} \quad (2.3)$$

Dimana :

$X_{data.i}$: koordinat sumbu x dari data ke i

$X_{check.i}$: koordinat sumbu x dari yang benar ke i

$Y_{data.i}$: koordinat sumbu y dari data ke i

$Y_{check.i}$: koordinat sumbu y dari yang benar ke i

n : jumlah titik

2.4.4 Pemotongan Citra (*Cropping*)

Pemotongan citra ialah pengambilan area tertentu yang akan diamati (*area of interest*) dalam citra, yang bertujuan untuk mempermudah penganalisaan citra dan memperkecil ukuran penyimpanan citra.

Proses pemotongan citra dilakukan dengan cara penentuan lintang dan bujur sesuai dengan batas wilayah studi dan dibatasi oleh batas administrasi.

2.4.5 Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra digital merupakan proses pengelompokan piksel ke dalam kelas-kelas tertentu. Hal ini sesuai dengan asumsi yang digunakan dalam klasifikasi multispektral ialah bahwa setiap objek dapat dibedakan dari yang lainnya berdasarkan nilai spektralnya (Danoedoro, 1996). Klasifikasi citra secara digital dapat dilakukan dengan dua cara yaitu klasifikasi terselia (*supervised*) dan klasifikasi tak terselia (*unsupervised*). Pada umumnya Klasifikasi citra digital yang digunakan adalah klasifikasi terselia (*supervised*). (Anthony, 2011).

2.4.6 Uji Ketelitian Klasifikasi

Di dalam suatu penelitian yang menggunakan metode dan data tertentu perlu dilakukan uji ketelitian untuk memberikan tingkat kepercayaan yang

tinggi kepada pengguna terhadap setiap jenis data maupun metode analisisnya. Uji ketelitian klasifikasi dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut (Purwadhi, 2001).

- a. Melakukan pengecekan lapangan serta pengukuran beberapa titik (*sample area*) yang dipilih dari setiap bentuk penutup/penggunaan lahan. Membuat matriks dari perhitungan setiap kesalahan (*confusion matrix*) pada setiap bentuk penutup/penggunaan lahan dari hasil interpretasi citra penginderaan jauh. Ketelitian pemetaan dibuat dalam beberapa kelas X yang dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$MA = \frac{X_{cr \text{ pixel}}}{X_{cr \text{ pixel}} + X_o \text{ pixel} + X_{co} \text{ pixel}} \quad (2.4)$$

Keterangan :

MA = Ketelitian pemetaan (mapping accuracy)

Xcr = Jumlah kelas X yang terkoreksi

Xo = Jumlah kelas X yang masuk ke kelas lain (omisi)

Xco = Jumlah kelas X tambahan dari kelas lain (komisi)

Ketelitian seluruh hasil klasifikasi (KH) dapat dilihat pada rumus :

$$KH = \frac{\text{Jumlah pixel untuk semua kelas}}{\text{Jumlah Semua Kelas}} \quad (2.5)$$

2.5 Citra Satelit Penginderaan Jauh

2.5.1 Karakteristik Citra Landsat-7 ETM+

Land Satellite (Landsat) merupakan program tertua dalam perangkat observasi bumi. Landsat dimulai tahun 1972 dengan nama Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1). Satelit ini merupakan satelit sumberdaya alam yang pertama. Satelit Landsat terdiri dari beberapa seri yaitu : Landsat-1, Landsat-2, diteruskan 3, 4, 5, 6, Landsat 7 dimana merupakan bentuk baru dari Landsat 6 yang gagal mengorbit dan yang terakhir adalah Landsat 8.

Citra satelit Landsat-7 merupakan citra Landsat dengan resolusi spasial 30 m x 30 m pada band 1, 2, 3, 4, 5, 7 dan 60 m x 60 m pada band 6 (thermal). Landsat-7 dilengkapi dengan Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) yang merupakan kelanjutan dari program Thematic Mapper (TM) yang diusung

sejak Landsat-5. Saluran pada satelit ini pada dasarnya adalah sama dengan 7 saluran pada TM, namun diperluas dengan saluran 8 yaitu Pankromatik. Saluran 8 ini merupakan saluran berresolusi tinggi yaitu seluas 15 meter. Berikut ini adalah karakteristik citra satelit Landsat ETM+

Tabel 2.2 Karakteristik Citra Satelit Landsat ETM+

SISTEM	LANDSAT ETM+
Orbit	705 km, 98,2°, sun-synchronous, 10:00 AM
Crossing, Rotasi	16 hari (repeat cycle)
Sensor	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper)
Swath Width	185 km (FOV=15°)
Off-track viewing	Tidak tersedia
Revisit Time	16 hari
Resolusi spasial	15 m (pankromatik), 30 m (multispektral), 60 m (termal)

Sumber : Sean, 2013

Sedangkan untuk karakteristik saluran pada Landsat TM adalah sebagai berikut.

Tabel 2.3 Karakteristik Saluran Citra Satelit Landsat TM

BAND	PANJANG GELOMBANG (μM)	RESOLUSI SPASIAL (M)	APLIKASI
1	0,45 – 0,52	30 x 30	Penetrasi tubuh air, analisis penggunaan lahan, tanah, dan vegetasi. Pembedaan vegetasi dan lahan.
2	0,52 – 0,60	30 x 30	Pengamatan puncak pantulan vegetasi pada saluran hijau yang terletak di antara dua saluran penyerapan. Pengamatan ini dimaksudkan untuk membedakan tanaman sehat terhadap tanaman yang tidak sehat.
3	0,63 – 0,69	30 x 30	Saluran terpenting untuk membedakan jenis vegetasi. Saluran ini terletak pada salah satu daerah penyerapan klorofil dan memudahkan pembedaan antara lahan terbuka terhadap lahan bervegetasi.
4	0,76 – 0,90	30 x 30	Saluran yang peka terhadap biomasa vegetasi. Juga untuk identifikasi jenis tanaman, memudahkan pembedaan tanah dan tanaman serta lahan dan air.
5	1,55 – 1,75	30 x 30	Saluran penting untuk pembedaan jenis tanaman, kandungan air pada tanaman, kondisi kelembaban tanah.
6	2,08 – 2,35	120 x 120	Untuk membedakan formasi batuan dan untuk pemetaan hidrotermal.
7	10,40 – 12,50	30 x 30	Klasifikasi vegetasi, analisis gangguan vegetasi, pembedaan kelembaban tanah, dan keperluan lain yang berhubungan dengan gejala termal.

Sumber : Sean, 2013

2.5.2 Karakteristik Citra Landsat 8

Satelit LDCM (Landsat-8) dirancang membawa sensor pencitra OLI (*Operational Land Imager*) yang mempunyai 1 kanal inframerah dekat dan 7 kanal tampak reflektif, akan meliputi panjang gelombang yang direfleksikan oleh objek-objek pada permukaan Bumi, dengan resolusi spasial yang sama dengan Landsat pendahulunya yaitu 30 meter. Sensor pencitra OLI mempunyai kanal-kanal spektral yang menyerupai sensor ETM+ (*Enhanced Thermal Mapper plus*) dari Landsat-7, akan tetapi sensor pencitra OLI ini mempunyai kanal-kanal yang baru yaitu : kanal-1: 443 nm untuk aerosol garis pantai dan kanal 9 : 1375 nm untuk deteksi *cirrus*, namun tidak mempunyai kanal inframerah termal. Untuk menghasilkan kontinuitas kanal inframerah termal, pada tahun 2008, program LDCM (Landsat-8) mengalami pengembangan, yaitu Sensor pencitra TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) ditetapkan sebagai pilihan (*optional*) pada misi LDCM (Landsat-8) yang dapat menghasilkan kontinuitas data untuk kanal-kanal inframerah termal yang tidak dicitrakan oleh OLI (NASA, 2008 dalam Sitanggang, 2010).

Berikut ini adalah karakteristik citra satelit Landsat 8.

Tabel 2.4 Karakteristik Citra Satelit Landsat 8

Launch period	February 11 th , 2013		
Orbit	705 km, sun-synchronous @ 98.2° inclination		
Orbital period	99 minutes		
Revisit cycle	16 days		
Spatial resolutions and spectral bands of Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	30 m	Coastal/Aerosol:	0.433–0.453 μm Band 1
	30 m	Blue:	0.450–0.515 μm Band 2
	30 m	Green:	0.525–0.600 μm Band 3
	30 m	Red:	0.630–0.680 μm Band 4
	30 m	Near-IR:	0.845–0.885 μm Band 5
	30 m	SWIR-1:	1.560–1.660 μm Band 6
	30 m	SWIR-2:	2.100–2.300 μm Band 7
	15 m	Panchromatic:	0.500–0.680 μm Band 8
	30 m	Cirrus:	1.360–1.390 μm Band 9
	100 m	LWIR-1:	10.30–11.30 μm Band 10
	100 m	LWIR-2:	11.50–12.50 μm Band 11
Scene size	185-km-cross-track-by-180-km-along-track		

Sumber : LAPAN, 2013

2.6 Metode Rasional

Dalam penelitian ini, metode rasional juga digunakan untuk menentukan daerah rawan genangan berdasarkan nilai debit limpasan. Menurut Chow (1998), metode rasional adalah sebuah metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai debit puncak (*peak discharge*). Hal yang mendasari penggunaan metode rasional ini adalah jika curah hujan dengan intensitas (*I*) terjadi secara terus-menerus, maka secara langsung laju limpasan akan bertambah sampai mencapai waktu konsentrasi (*tc*). Waktu konsentrasi akan tercapai ketika seluruh bagian dari DAS telah memberikan kontribusi aliran. Laju masukan pada sistem adalah hasil intensitas curah hujan pada DAS dengan luas daerah pengaliran yang disimbolkan dengan *A*. Koefisien limpasan (*run off coefficient*) merupakan nilai perbandingan antara laju masukan dengan laju debit puncak yang terjadi pada saat waktu konsentrasi.

Bentuk umum rumus rasional ini adalah sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.6)$$

Dimana :

Q = Debit maksimum (m³/detik)

C = Koefisien limpasan (*run off*) air hujan

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (km²)

Arti dari rumus ini dapat segera diketahui yakni jika terjadi curah hujan selama 1 jam dengan intensitas 1 mm/jam dalam daerah seluas 1 km², maka debit banjir sebesar 0.278 m³/detik melimpas selama 1 jam (Sosrodarsono, 1993).

2.6.1 Intensitas Curah Hujan

Perhitungan debit banjir dengan metode rasional memerlukan data intensitas curah hujan. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi. Intensitas curah hujan dinotasikan dengan huruf *I* dengan satuan mm/jam (Loebis, 1992).

Intensitas hujan (mm/jam) dapat diturunkan dari data curah hujan harian (mm) empiris menggunakan metode mononobe, intensitas curah hujan (I) dalam rumus rasional dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut.

$$I = \frac{R}{24} \times \left[\frac{24}{t_c} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.7)$$

Dimana :

I = Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

R = Curah hujan maksimum harian

t_c = Waktu konsentrasi

2.6.2 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir dari titik terjauh daerah tangkapan hujan ke saluran keluar (*outlet*) atau waktu yang dibutuhkan oleh air dari awal curah hujan sampai terkumpul serempak mengalir ke saluran keluar.

Adapun waktu konsentrasi (t_c) dihitung dengan menggunakan rumus Kirpich (Chow, 1988).

$$T_c = 0,945 \times (L^{1,156} / D^{0,385}) \quad (2.8)$$

Dimana :

T_c = Waktu konsentrasi

L = Panjang sungai/alur utama (km)

D = Beda tinggi sungai utama

2.6.3 Koefisien Limpasan

Koefisien ditetapkan sebagai rasio kecepatan maksimum pada aliran air dari daerah tangkapan hujan. Koefisien ini merupakan nilai banding antara bagian hujan yang membentuk limpasan langsung dengan hujan total yang terjadi. Nilai C tergantung pada beberapa karakteristik dari daerah tangkapan hujan, sebagai berikut.

- a. Kelandaian daerah tangkapan

- b. Karakteristik daerah, seperti perlindungan vegetasi, tipe tanah dan daerah kedap air

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menampilkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukaan itu merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0-1. Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang baik harga C mendekati nol dan semakin rusak suatu DAS maka harga C semakin mendekati satu (Kodoatie, 2002).

Nilai koefisien limpasan berdasarkan fungsi lahan menurut metode rasional dapat dilihat pada tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Koefisien Limpasan (C) menurut Metode Rasional

Tutupan Lahan	Tekstur Tanah		
	Pasir	Lempung	Lanau
Hutan	0.1	0.3	0.4
Padang Rumput	0.1	0.3	0.4
Perkebunan	0.3	0.5	0.6
Perkotaan	renggang	sedang	rapat

Sumber : Wiley (1985)

Suripin (2004), menyatakan bahwa jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda, maka C yang dipakai adalah koefisien DAS yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.9)$$

Dimana :

A_i = Luas lahan dengan jenis penutup tanah i

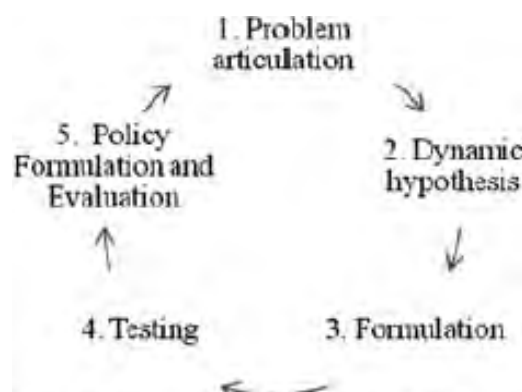
C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i

D = Jumlah jenis penutup lahan

2.7 Model Sistem Dinamik

Sistem dinamik merupakan suatu metodologi untuk mempelajari permasalahan di sekitar yang melihat permasalahan secara keseluruhan (holistik). Metodologi ini tidak seperti metodologi lain yang mengkaji permasalahan dengan memilahnya menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan saling membatasi. Konsep utama sistem dinamik adalah pemahaman tentang bagaimana semua objek dalam suatu sistem saling berinteraksi satu dengan yang lain.

Sterman (2000) memaparkan terdapat 5 tahapan dalam mengembangkan model sistem dinamik yaitu dimulai dari pendefinisian permasalahan (*Problem Articulation*) yang akan diangkat dengan menggunakan sistem dinamik. Tahap kedua adalah pembuatan hipotesa awal (*Dynamic Hypothesis*) dengan berbekal permasalahan pada tahap pertama. Tahap ketiga formulasi masalah (*Formulation*). Tahap keempat adalah tahap pengujian dengan berbagai macam kombinasi atau skenario kebijakan (*Testing*). Tahap kelima atau tahap yang terakhir adalah pengambilan kebijakan terbaik dari tahap sebelumnya dan melakukan evaluasi. Kelima tahap tersebut ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.6 Proses dalam Pemodelan Sistem Dinamik (Sterman, 2000)

Keunggulan Sistem dinamik adalah memiliki umpan balik atau *feedback structure* yang saling berkaitan dan menuju ke arah keseimbangan (Sterman, 2000).

Model dinamika sistem dibentuk karena adanya hubungan sebab-akibat (*causal*) yang mempengaruhi struktur di dalamnya baik secara langsung antar dua

struktur, maupun akibat dari berbagai hubungan yang terjadi pada sejumlah struktur, hingga membentuk umpan-balik (*causal loop*). Struktur umpan-balik ini merupakan blok pembentuk model yang diungkapkan melalui lingkaran-lingkaran hubungan sebab-akibat dari variabel-variabel yang melingkar secara tertutup (Zare, 2012).

Ada 2 macam hubungan kausal, yaitu

1. hubungan sebab-akibat positif; dan
2. hubungan sebab-akibat negatif.

Ada 2 macam umpan-balik, yaitu:

1. umpan-balik positif (*growth*)
2. umpan-balik negatif (*goal seeking*).

Menurut (Fuchs, 2006) Representasi aktivitas dalam hubungan kausatik, digunakan dua jenis variabel yaitu stok dan aliran (*level and rate* atau *stock and flow*).

- Stok : kondisi sistem pada setiap saat, akumulasi di dalam sistem.
- Aliran: satu-satunya variabel dalam model yang dapat mempengaruhi stok.

Persamaan suatu variabel *rate* merupakan suatu struktur kebijaksanaan yg menjelaskan mengapa dan bagaimana suatu keputusan dibuat berdasarkan pada informasi yg tersedia dalam sistem. Variabel lain yang melengkapi variabel stok dan aliran adalah sebagai berikut.

- *Auxiliary* : variabel yang bisa berubah seiring dengan waktu, perubahannya dapat disebabkan atas hubungan-hubungan sebab akibat yang terjadi antara variabel dalam model ataupun akibat variabel dari luar secara independen.
- Konstanta : variabel dengan nilai tetap yang tidak berubah sepanjang waktu.
- Tundaan : variabel waktu pd perilaku perubahan yg tidak serta-merta (tertunda) atas proses yang terjadi dalam hubungan antar struktur hingga mempengaruhi perilaku model.

Pembuatan model dinamika sistem umumnya dilakukan dengan menggunakan *software* yang memang dirancang khusus. *Software* tersebut seperti

Powersim, Vensim, Stella, dan Dynamo. Dengan software tersebut model dibuat secara grafis dengan simbol-simbol atas variabel dan hubungannya. Namun demikian tidak menutup kemungkinan sebuah *software* yang dapat mengolah operasi matematis jenis *spreadsheet* seperti *Microsoft Excel* atau *Lotus* juga bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan pembuatan model dinamika sistem (Fuchs, 2006).

Validasi adalah penentuan apakah model konseptual simulasi adalah representasi akurat dari sistem nyata yang dimodelkan (Forrester, 1968). Ada dua cara pengujian validasi yaitu dengan :

- **Perbandingan Rata- Rata (*Mean Comparison*)**

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \quad (2.10)$$

Dimana : \bar{S} adalah nilai rata-rata hasil simulasi

\bar{A} adalah nilai rata-rata data

Model dianggap valid apabila nilai $E1 \leq 5 \%$.

- **Perbandingan Variasi Amplitudo (% *Error Variance*)**

$$E2 = \frac{|Ss - Sa|}{Sa} \quad (2.11)$$

Dimana : Ss adalah standar deviasi model

Sa adalah standar deviasi data

Model dianggap valid apabila nilai $E2 \leq 30 \%$.

2.8 Penelitian Terdahulu

Menurut penelitian (Ardi, 2010), pemetaan pola hidrologi kawasan pantai Surabaya-Sidoarjo dengan menggunakan citra satelit Landsat ETM+ tahun 2003, dan SPOT 4 menunjukkan bahwa Daerah pesisir Surabaya bagian utara sampai perbatasan Sidoarjo di dominasi oleh pola aliran Paralel, sedangkan Daerah pesisir Sidoarjo lebih di dominasi oleh pola aliran sungai Dendritik. Dan pola aliran sungai dari tahun 2003 hingga 2009 relatif tetap.

Berdasarkan tingkat kerentanannya kawasan pesisir pantai Surabaya Sidoarjo di dominasi kelas genangan permanen yaitu 26058.365 pada tahun 2003,

23955.467 tahun 2006, dan 24469.697 tahun 2009 yang sebagian besar terdapat pada tutupan lahan tambak yang juga merupakan tutupan lahan terbesar pada daerah tersebut yang mengindikasikan bahwa tutupan lahan merupakan parameter terpenting yang mempengaruhi tingkat kerentanan daerah genangan. Dimungkinkan pembangunan jembatan Suramadu dan peristiwa Lapindo tidak berpengaruh banyak pada kerentanan daerah genangan dan pola aliran sungai kawasan pantai Surabaya Sidoarjo sehingga perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh pembangunan jembatan Suramadu dan pembuangan lumpur Lapindo melalui Kali Porong terhadap daerah genangan dan perubahan pola aliran sungai.

Berdasarkan Idris (2007) analisis limpasan dan penentuan daerah genangan di Kabupaten Lamongan menggunakan Citra SPOT 2, dari penelitian tersebut didapatkan bahwa wilayah limpasan dan genangan air hujan memiliki ketinggian yang relatif sangat rendah yaitu 0-12.5 meter berdasarkan peta visualisasi limpasan dan genangan air hujan. Wilayah dampak limpasan dan genangan air hujan tersebut berupa sawah, kebun dan ladang, badan air dan pemukiman.

Berdasarkan Bioresita Filsa (2013) analisa potensi genangan berdasarkan data curah hujan global berbasis penginderaan jauh, dari penelitian tersebut didapatkan bahwa analisa hubungan antara data curah hujan TRMM dengan genangan menghasilkan perubahan curah hujan yang tidak terlalu berpengaruh pada perubahan luas genangan. Curah hujan akan berpengaruh apabila disertai dengan variabel atau parameter-parameter yang lain seperti ketinggian wilayah, kelerengan, penggunaan lahan, dan jenis tanah untuk dapat membuat pemodelan prakiraan genangan yang tepat.

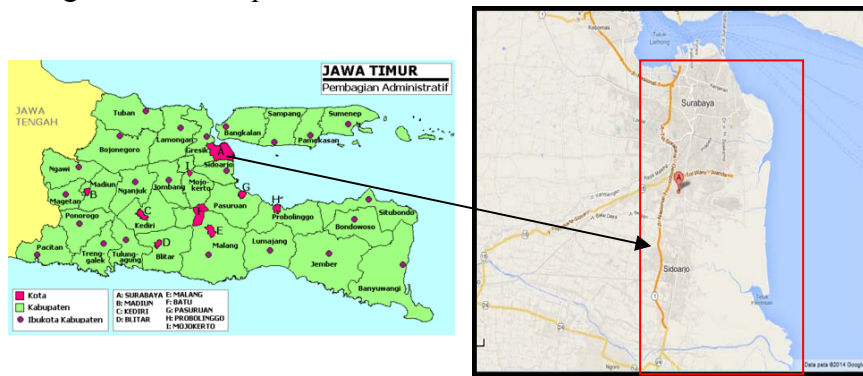
Dari beberapa penelitian mengenai daerah genangan yang telah dilakukan diatas, maka analisa perubahan pola aliran sungai dan daerah genangan serta pemodelan prakiraan genangan yang tepat merupakan hal menarik untuk dikaji dengan mengaplikasikan teknologi penginderaan jauh dan sistem dinamik.

BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif termasuk dalam wilayah Kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Secara geografis daerah studi terletak pada $7^{\circ}10'20''$ – $7^{\circ}36'00''$ LS dan $112^{\circ}34'52''$ – $112^{\circ}54'36''$ BT. Berikut ini adalah gambar lokasi penelitian :



Ket: Lokasi Pesisir Surabaya-Sidoarjo

Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Pemerintah Provinsi Jawa Timur, 2013)

3.2 Alat dan Data

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

1. *Software* pengolah citra yaitu ER Mapper 7.0 dan pemodelan sistem dinamik yaitu Vensim Portable (Venple)

Digunakan untuk pemrosesan Citra Satelit Landsat-7 ETM+ tahun 2009, Landsat 8 tahun 2013 dan pemodelan daerah genangan.

2. ArcGIS 10

Aplikasi ini digunakan untuk pemrosesan analisis *overlay* dan pembuatan tampilan peta.

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

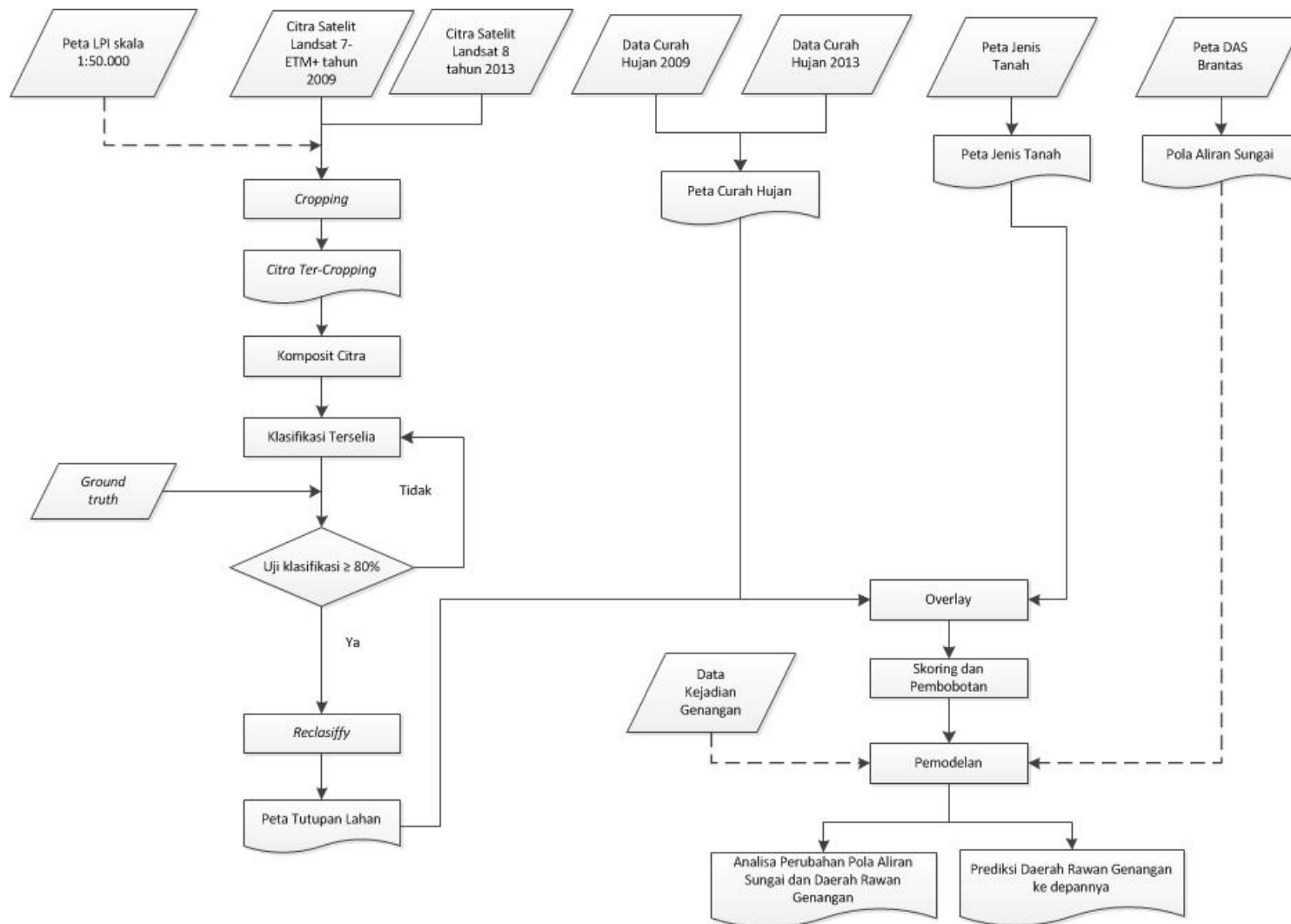
1. Citra Satelit Landsat-7 ETM+ *path* 118, *row* 065 dengan akuisisi tahun 2009
2. Citra Satelit Landsat 8 *path* 118, *row* 065 dengan akuisisi tahun 2013

3. Peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) tahun 1993 dengan skala 1 : 50.000 lembar 1608-01 (Gresik), 1608-02 (Kwanyar), 1608-03 (Pasuruan) (sumber : BAKOSURTANAL)
4. Data curah hujan dan stasiun pengamat hujan daerah Surabaya-Sidoarjo tahun 2000 – 2013 (sumber: DPU pengairan Provinsi dan Kab. Sidoarjo)
5. Peta jenis tanah daerah pantai Surabaya-Sidoarjo (sumber : BBPPLSP Bogor)
6. Peta dan Data Daerah Aliran Sungai Brantas (sumber : Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai)
7. Data kejadian genangan lokasi studi (Bappeko Surabaya dan DPU Pengairan Kab. Sidoarjo)

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahap Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data yang akan dilaksanakan dalam kegiatan penelitian ini adalah seperti pada diagram berikut.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Data

Penjelasan dari diagram alir tersebut adalah sebagai berikut.

- Data yang digunakan adalah citra satelit Landsat-7 ETM+ dan Landsat 8, Peta LPI skala 1:50.000, data curah hujan, peta jenis tanah dan peta DAS. Citra yang digunakan memiliki tahun akuisisi yang berbeda yaitu 2009 dan 2013, hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan tutupan lahan yang terjadi dalam kurun waktu tersebut. Selain itu juga untuk dilakukan pemodelan sistem dinamik dalam waktu bulanan selama kurun waktu tersebut.
- Sebelum dilakukan pengolahan data lebih lanjut, sebelumnya dilakukan pemotongan citra sesuai dengan batas area studi menggunakan Peta LPI skala 1:50.000. Citra yang telah terpotong sesuai batas penelitian kemudian dilakukan pengolahan untuk mendapatkan tutupan lahan, sebagai parameter penentuan daerah rawan genangan. Untuk mendapatkan tutupan lahan, maka dilakukan klasifikasi secara terselia. Hasil klasifikasi tutupan lahan kemudian dilakukan uji klasifikasi dengan data hasil *ground truth* menggunakan metode *confusion matrix* dengan toleransi $\geq 80\%$.
- Kemudian dilakukan *overlay* dan skoring pada semua data yaitu peta tutupan lahan, peta jenis tanah dan peta curah hujan. Sehingga akan didapatkan peta daerah rawan genangan.
- Pada tahap pemodelan dilakukan perhitungan debit maksimum pada tiap sub DAS kemudian juga dilakukan pembuatan suatu model sistem dinamik antara variabel/parameter penyebab daerah genangan dengan luas genangan berdasarkan pada data spasial baru hasil skoring dan perhitungan debit maksimum dengan metode rasional. Pembuatan model beracuan pada data kejadian genangan di lokasi studi. Dari pemodelan ini dapat diketahui prediksi daerah rawan genangan ke depannya.
- Untuk mendapatkan pola aliran sungai, maka dilakukan pengolahan pada peta DAS Brantas dan *spatial analyst* pada Citra Satelit. Setelah semua proses telah dilakukan maka akan dihasilkan analisa perubahan pola aliran sungai dan daerah rawan genangan serta prediksi daerah rawan genangan di lokasi studi ke depannya.

3.3.2 Tahap Akhir

Berupa hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu suatu analisis perubahan pola aliran sungai dan daerah rawan genangan di Pantai Surabaya-Sidoarjo menggunakan citra satelit penginderaan jauh, prediksi daerah rawan genangan ke depannya dan kekurangan serta kendala yang dihadapi yang kemudian dituangkan dalam bentuk Laporan Tesis.

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Citra Satelit

Citra satelit yang digunakan adalah Landsat-7 ETM+ tahun 2009 level 1G dan Landsat 8 tahun 2013 level 1T. Citra Landsat-7 ETM+ tahun 2009 yang digunakan memiliki level 1G dengan menggunakan proyeksi *Universal Transverse Mercator*, sehingga tidak perlu dilakukan *pre-processing* karena sudah terkoreksi secara radiometrik dan geometrik. Berikut ini adalah karakteristik produk satelit Landsat-7 ETM+ yang dibagi menjadi 3 level, yaitu :

Tabel 4.1 Karakteristik Level Landsat-7 ETM+

Level	Karakteristik
0R	Level ini data Landsat belum mengalami koreksi radiometrik dan geometrik
1R	Produk pada level ini adalah lever 0-R yang telah mengalami koreksi radiometrik
1G	Produk pada level ini adalah level 1-R yang telah mengalami koreksi geometrik pada proyeksi tertentu. Terdapat 7 pilihan proyeksi yang bisa digunakan, yaitu : <ul style="list-style-type: none"> • Universal Transverse Mercator • Lambert Conformal Conic • Polyconic • Transverse Mercator • Polar Stereografik • Hotine Oblique Mercator A • Space Oblique Mercator

Sumber : USGS, 2014a

Citra satelit Landsat 8 tahun 2013 yang digunakan memiliki level 1 *Terrain Corrected* (1T). Berikut ini adalah spesifikasi Landsat 8.

Tabel 4.2 Karakteristik Level Landsat 8

Level	Karakteristik
1T	Produk ini adalah data hasil pengolahan L1R dengan penerapan koreksi geometrik sistematis. Penggunaan titik ikat/informasi posisi <i>on board</i> untuk <i>resampling</i> citra sehingga terproyeksi secara kartografis, ke WGS 84 atau versi lain yang ada

Sumber : USGS, 2014b

Data hasil pengolahan dengan level L1T telah terbebas dari kesalahan akibat sensor, satelit dan bumi. Sehingga dapat dikatakan untuk data citra satelit Landsat yang digunakan dapat langsung diolah lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan penelitian. Dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan citra satelit untuk mendapatkan tutupan lahan dari daerah penelitian.

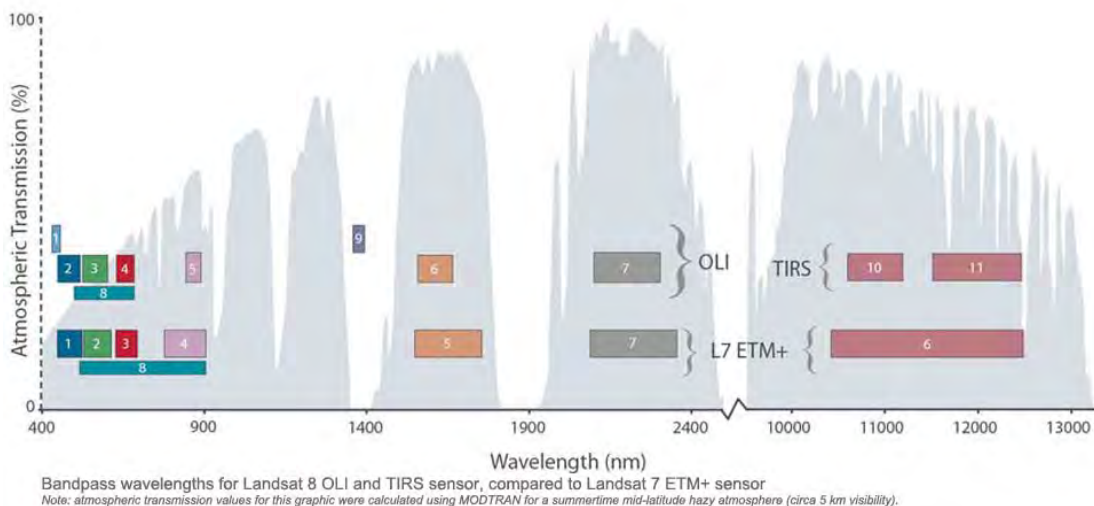
Citra Satelit Landsat-7 ETM+ dapat digunakan untuk mendapatkan tutupan lahan di daerah penelitian dikarenakan memiliki panjang gelombang 0,45 – 0,52 μm (*Band 1*) yang mampu menembus tubuh air, analisis penggunaan lahan, tanah, dan vegetasi. Selain itu Landsat-7 ETM+ juga memiliki *Band 2* dengan panjang gelombang 0,52 – 0,60 μm yang dapat digunakan untuk pengamatan puncak pantulan vegetasi pada saluran hijau yang terletak di antara dua saluran penyerapan. Kemudian pada *Band 3* Landsat-7 ETM+ dengan panjang gelombang 0,63 – 0,69 μm merupakan saluran terpenting untuk membedakan jenis vegetasi. Saluran ini terletak pada salah satu daerah penyerapan klorofil dan memudahkan pembedaan antara lahan terbuka terhadap lahan bervegetasi. Band 1, 2 dan 3 pada Landsat-7 ETM+ merupakan *visible band* yang dapat digunakan untuk mendeteksi tutupan lahan. Selain itu Landsat-7 ETM+ memiliki resolusi spasial 30 x 30 m, sehingga dapat digunakan dalam penelitian ini karena mencakup seluruh wilayah penelitian.

Sedangkan Citra Satelit Landsat 8 digunakan pada penelitian karena memiliki panjang gelombang yang hampir sama dengan Landsat-7 ETM+. Perbedaan yang utama pada kedua citra satelit ini adalah pada Landsat 8 memiliki panjang gelombang 0,433 – 0,453 μm pada *Band 1* dimana dengan panjang gelombang ini, Landsat 8 mampu mengidentifikasi daerah pesisir. Dalam menembus badan air dan analisis penggunaan lahan, Landsat 8 memiliki *Band 2* dengan panjang gelombang 0,450 – 0,515 μm . Selain itu, Landsat 8 juga memiliki *Band 3* dengan panjang gelombang 0,525 – 0,600 dan *Band 4* dengan panjang gelombang 0,630 – 0,680 dimana kedua band tersebut dapat digunakan untuk menganalisis vegetasi di daerah penelitian. *Visible band* pada Landsat 8 adalah band 4, 3 dan 2 dimana memiliki panjang gelombang yang sama dengan *visible band* milik Landsat-7 ETM+ (band 3, 2 dan 1). Sama halnya dengan Landsat-7

ETM+, Landsat 8 juga memiliki resolusi spasial 30 x 30 m yang berarti juga mampu mencakup seluruh wilayah penelitian.

Sehingga dapat dikatakan bahwa berdasarkan analisis resolusi spasial dan resolusi spektral dari kedua citra, citra Landsat-7 ETM+ dan Landsat 8 dapat digunakan untuk mendapatkan tutupan lahan yang menjadi parameter dalam menentukan daerah genangan di daerah penelitian. Hasil klasifikasi tutupan lahan dari kedua citra tidak akan jauh berbeda karena memiliki karakteristik panjang gelombang yang sama, perbedaan yang terjadi disebabkan karena perkembangan pembangunan yang terjadi di daerah penelitian.

Pada penelitian ini digunakan citra Landsat dengan tahun yang berbeda yaitu tahun 2009 dan tahun 2013. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan *trend* perubahan pola aliran dan daerah genangan pada kurun waktu tersebut. Selain itu, kedua tahun tersebut merupakan tahun yang mendekati kondisi pada tahun 2014, sehingga dalam melakukan validasi data dengan riwayat genangan hasilnya tidak akan jauh berbeda. Dalam melakukan permodelan juga akan didapatkan *base model* daerah rawan genangan yang sama dengan kondisi saat ini, prediksi pada saat mendatang hasilnya juga tidak jauh berbeda dari kondisi sebelumnya. Berikut ini adalah grafik perbedaan panjang gelombang citra satelit Landsat-7 ETM+ dan Landsat 8.



Gambar 4.1 Grafik Perbedaan Panjang Gelombang Citra Satelit Landsat-7 ETM+ dan Landsat 8 (USGS, 2013)

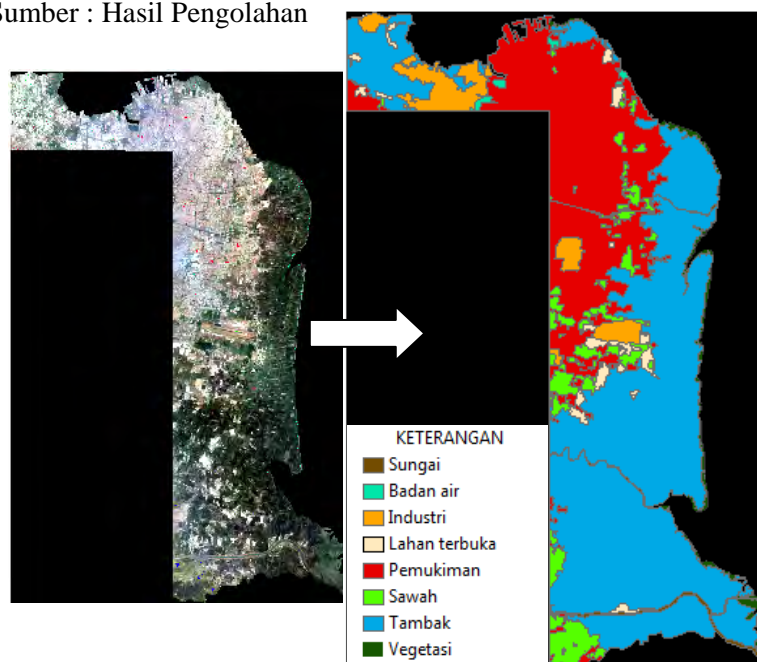
4.1.1 Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi yang dilakukan pada citra Landsat 7 ETM+ tahun 2009 dan citra Landsat 8 tahun 2013 menggunakan klasifikasi terselia untuk mendapatkan jenis tutupan lahan pada area penelitian. Hasil dari klasifikasi citra Landsat 7 ETM+ tahun 2009 dan citra Landsat 8 tahun 2013 yaitu berupa Peta Tutupan Lahan yang diklasifikasi menjadi 6 kelas yaitu :

Tabel 4.3 Jenis dan Luas Tutupan Lahan pada Pesisir Surabaya-Sidoarjo tahun 2009

No.	Kelas	Area (Ha)	Area (%)
1	Tambak	24749.58	55.02
2	Badan Air	592.95	1.32
3	Lahan Terbuka	957.66	2.13
4	Pemukiman	15155.31	33.69
5	Vegetasi	674.60	1.50
6	Sawah	2850.41	6.34
Total		44980.50	100.00

Sumber : Hasil Pengolahan



Gambar 4.2 Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan Pesisir Surabaya-Sidoarjo 2009

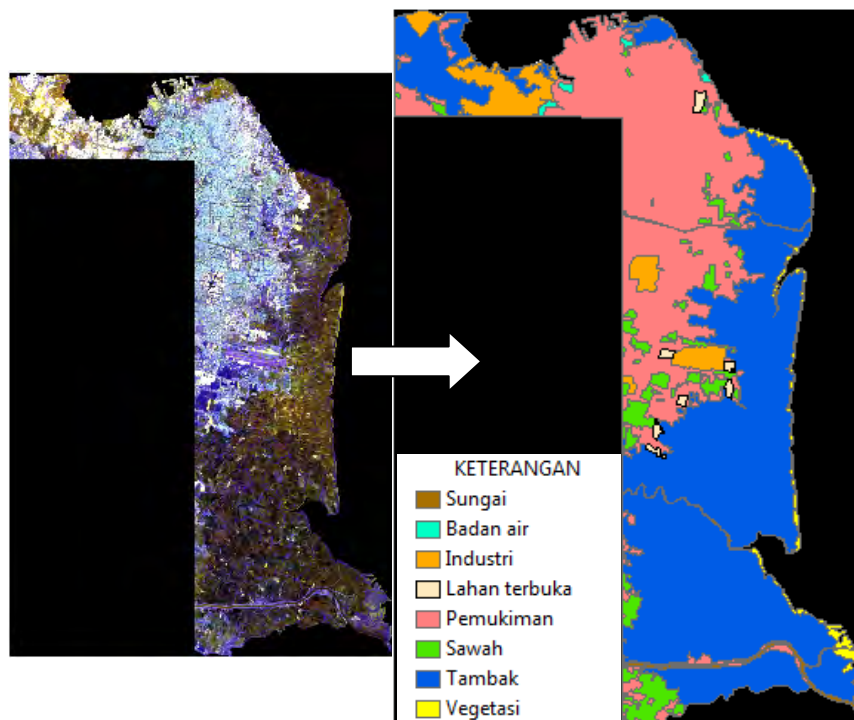
Dari hasil klasifikasi secara terselia pada tabel 4.3, diperoleh jumlah luas tutupan lahan pesisir Surabaya-Sidoarjo pada tahun 2009 adalah 44980.50 Hektar. Tutupan lahan terluas didominasi oleh kelas tambak sebesar 24749.58

Hektar (55.02 %), sedangkan untuk area terkecil adalah kelas badan air yakni sebesar 592.95 Hektar (1.32 %).

Tabel 4.4 Jenis dan Luas Tutupan Lahan pada Pesisir Surabaya-Sidoarjo tahun 2013

No.	Kelas	Area (Ha)	Area (%)
1	Tambak	24108.91	53.57
2	Badan Air	555.89	1.24
3	Lahan Terbuka	284.73	0.63
4	Pemukiman	16911.23	37.58
5	Vegetasi	854.73	1.90
6	Sawah	2287.37	5.08
Total		45002.87	100.00

Sumber : Hasil Pengolahan



Gambar 4.3 Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan Pesisir Surabaya-Sidoarjo 2013

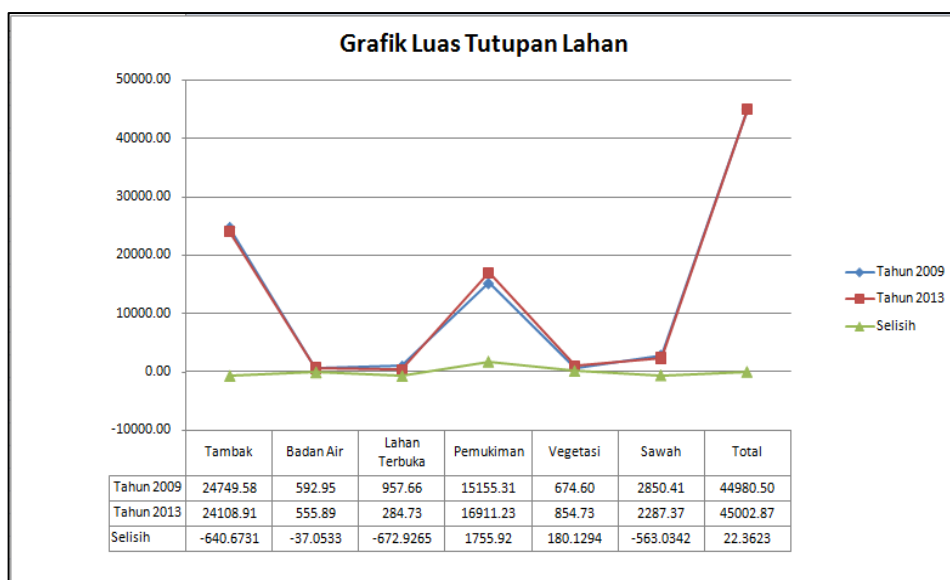
Dari hasil klasifikasi secara terselia pada tabel 4.4, diperoleh jumlah luas tutupan lahan pesisir Surabaya-Sidoarjo pada tahun 2013 adalah 45002.87 Hektar. Tutupan lahan terluas didominasi oleh kelas tambak sebesar 24108.91

Hektar (53.57 %), sedangkan untuk area terkecil adalah kelas lahan terbuka yakni sebesar 284.73 Hektar (0.63 %).

Tabel 4.5 Selisih Jenis dan Luas Tutupan Lahan pada Pesisir Surabaya-Sidoarjo tahun 2009-2013

No.	Kelas	Area (Ha)
1	Tambak	-640.6731
2	Badan Air	-37.0533
3	Lahan Terbuka	-672.9265
4	Pemukiman	1755.92
5	Vegetasi	180.1294
6	Sawah	-563.0342
Total		22.3623

Sumber : Hasil Pengolahan



Gambar 4.4 Grafik Luas Tutupan Lahan

Berdasarkan hasil pengolahan citra tahun 2009 dan tahun 2013, didapatkan jenis tutupan lahan terluas didominasi oleh kelas tambak. Dari tahun 2009 hingga tahun 2013, hampir semua jenis tutupan lahan mengalami penurunan luasan. Luas tambak mengalami penurunan sebesar 640.67 Hektar. Luas badan air berkurang sebesar 37.05 Hektar. Luas lahan terbuka mengalami penurunan sebesar 672.92 Hektar.

Luas sawah berkurang sebesar 563.03 Hektar. Sedangkan untuk jenis tutupan lahan pemukiman dan vegetasi mengalami penambahan luasan.

Luas pemukiman bertambah seluas 1755.92 Hektar dan vegetasi seluas 180.12 Hektar. Penambahan luas pemukiman ini disebabkan karena semakin berkembangnya pembangunan kawasan pemukiman di kawasan Pesisir Surabaya-Sidoarjo, diindikasikan dengan berkurangnya luas tambak dan sawah. Pada tahun 2009, daerah yang dulunya berupa tambak dan sawah mayoritas berkembang menjadi kawasan pemukiman pada tahun 2013. Sedangkan berkurangnya lahan terbuka dapat disebabkan oleh bertambahnya luas vegetasi yang ada di daerah tersebut.

Selain perubahan tutupan lahan yang mengindikasikan adanya perkembangan pembangunan kawasan pesisir, luasan pesisir tahun 2009 dan 2013 mengalami kenaikan sebesar 22.36 Hektar. Penambahan ini dapat terjadi akibat penambahan sedimentasi di daerah pantai. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan Rahardian (2008) bahwa pola perubahan garis pantai dari tahun ke tahun yang terjadi pada kawasan pesisir Surabaya – Sidoarjo selalu mengalami penambahan wilayah pantai. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat sedimentasi yang terbentuk pada kawasan ini mengalami peningkatan.

Dalam menentukan daerah genangan, tutupan lahan merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi. Perubahan tutupan lahan dapat mempengaruhi kondisi hidrologi kawasan tersebut. Perubahan tutupan lahan pada suatu daerah tangkapan air akan sangat mempengaruhi karakteristik hidrologi. Pada kawasan pesisir Surabaya-Sidoarjo, luasan tambak, badan air dan sawah berkurang. Sehingga dapat diasumsikan, apabila jumlah limpasan air jauh lebih banyak dari daerah tangkapan air di kawasan tersebut maka daerah genangan juga akan semakin banyak. Ditambah pula semakin berkurangnya daerah retensi limpasan air dengan semakin banyaknya kawasan pemukiman.

4.1.2 Ketelitian Klasifikasi

Uji ketelitian dilakukan untuk mengetahui ketelitian hasil klasifikasi, metode yang digunakan yaitu perhitungan *confusion matrix*. Sebelum melakukan uji ketelitian, dilakukan survei lapangan untuk mengecek kebenaran hasil klasifikasi citra dengan kenampakan obyek di lapangan. Caranya dengan membandingkan sampel titik – titik koordinat pada tiap–tiap jenis kelas tutupan

lahan hasil klasifikasi, dengan kondisi koordinat sebenarnya di lapangan untuk mengetahui kebenaran hasil dari klasifikasi.

Uji ketelitian hasil klasifikasi citra dilakukan dengan menggunakan *confusion matrix*. Jika hasil perhitungan *confusion matrix* $\geq 80\%$ maka klasifikasi citra dianggap benar ((Short, 1982) dalam Sutanto, 1987).

Dari hasil perhitungan *confusion matrix* yang sudah dilakukan, didapatkan hasil ketelitian seluruh hasil klasifikasi (KH) untuk citra Landsat 7 ETM+ tahun 2009 sebesar 88.97% sedangkan untuk citra Landsat 8 sebesar 94.92% Dengan hasil perhitungan ketelitian klasifikasi yang didapatkan sebesar 88.97% dan 94.92%, maka klasifikasi dianggap benar karena nilainya lebih besar dari 80%.

Tabel 4.6 Perhitungan *Confusion Matrix* Citra Landsat 7 ETM+ tahun 2009

No	Kelas	TBK	PM	LT	BA	VG	SW	Total	Omisi	MA(%)
1	TBK	774	0	0	0	0	1	775	1	85.61
2	PM	27	583	0	52	0	0	662	79	82.34
3	LT	0	0	63	0	0	0	63	0	100
4	BA	8	16	0	120	0	0	144	24	60.60
5	VG	55	12	0	0	162	1	230	68	73.04
6	SW	39	18	0	2	0	162	221	59	73.54
Total/KH		903	629	63	174	162	164	2095	231	88.97
Komisi (pixel)		129	46	0	54	0	2	231		

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.7 Perhitungan *Confusion Matrix* Citra Landsat 8 tahun 2013

No	Kelas	TBK	PM	LT	BA	VG	SW	Total	Omisi	MA(%)
1	TBK	339	15	0	0	0	0	354	15	93.90
2	PM	7	258	0	16	0	0	281	23	83.76
3	LT	0	5	39	4	0	2	50	11	76.47
4	BA	0	3	0	125	0	0	128	3	84.46
5	VG	0	0	0	0	138	0	138	0	100
6	SW	0	4	1	0	0	167	172	5	95.97
Total/KH		346	285	40	145	138	169	1123	57	94.92
Komisi (pixel)		7	27	1	20	0	2	57		

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan tabel 4.6 dan 4.7 :

TBK : Tambak MA : Ketelitian Pemetaan
PM : Permukiman Omisi : Jumlah kelas X yang masuk kelas lain

Keterangan tabel 4.6 dan 4.7 :

LT	: Lahan Terbuka	Komisi	: Jumlah kelas X tambahan dari kelas lain
BA	: Badan Air	KH	: Ketelitian seluruh hasil klasifikasi
VG	: Vegetasi		
SW	: Sawah		

Berdasarkan hasil peta tutupan lahan yang diperoleh dari hasil pengolahan citra Landsat-7 ETM+ tahun 2009, besarnya hasil ketelitian dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya :

- Adanya selisih waktu sekitar 4 tahun antara tahun citra dengan data cek lapangan yang kemungkinan menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan kelas dalam jangka waktu tersebut.
- Kurangnya spesifikasi kelas yang diklasifikasikan.
- Lokasi tiap kelas yang berdekatan. Misal, pemukiman yang di sekelilingnya terdapat kelas tambak.

4.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Secara geografis, pesisir Surabaya-Sidoarjo terletak di hilir sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas yang bermuara di Selat Madura. Untuk mengetahui kondisi hidrologi kawasan pesisir Surabaya dan Sidoarjo, maka terlebih dahulu dianalisis pada masing-masing daerah agar mendapatkan hasil yang akurat.

Kabupaten Sidoarjo merupakan daerah delta yang diapit oleh dua sungai besar, yaitu Sungai Surabaya dan Sungai Porong. Selain itu, kawasan ini juga berbatasan langsung dengan Kota Surabaya. Kabupaten Sidoarjo memiliki 54 Saluran Pembuang/*Afvoir*. Untuk mempermudah perhitungan, daerah penelitian dibagi menjadi beberapa Sub-DAS. Berikut ini adalah kriteria pembagian Sub-DAS (Asdak Chay, 1995).

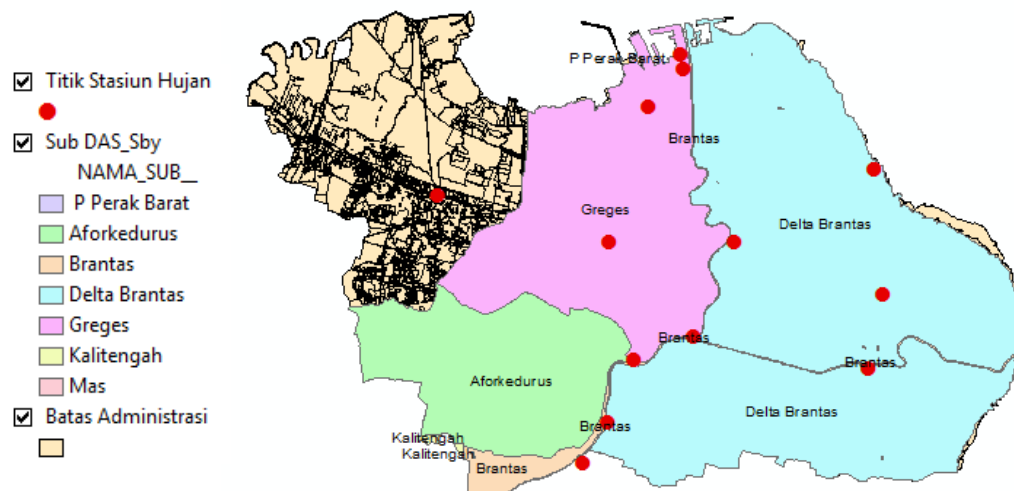
- Definisi daerah pengaliran adalah tempat presipitasi mengkonsentrasi ke sungai.
- Suatu DAS dapat dibagi lagi menjadi beberapa sub-DAS dan diurutkan berdasarkan jumlah percabangan aliran air atau anak-anak sungai.

Pada tabel 4.8 dapat dilihat pembagian sub-DAS, stasiun hujan dan luas area di Kabupaten Sidoarjo.

Tabel 4.8 Pembagian Sub DAS dan Luas Area di Kabupaten Sidoarjo

No	Nama Sub DAS	Stasiun Hujan	Luas Area (Ha)
1	Sub DAS Buntung	a. Juanda	11847.6
		b. Sedati	
		c. Bono	
		d. Sruni	
		e. Botokan	
		f. Ketawang	
		g. Ponokawan	
		h. Krian	
		i. Bakalan	
2	Sub DAS Jomblong	Banjar Kemantren	4616.0801
3	Sub DAS Wilayut	a. Karang Nongko	4724.8599
		b. Klagen	
4	Sub DAS Pucang	a. Sidoarjo	10649.2
		b. Sumpat	
		c. Ketintang	
		d. Watu Tulis	
5	Sub DAS Kedunguling	a. Kemlaten	17324.1
		b. Prambon	
		c. Gedang Rowo	
		d. Krembung	
		e. Durung Bedug	
		f. Kludan	
6	Sub DAS Ketapang	a. Putat	7818.1499
		b. Kedung Cangkring	
		c. Budug Bulus	
		d. Parung	

Sedangkan gambar 4.5 di bawah ini memperlihatkan lokasi stasiun hujan pada tiap sub-DAS.



Gambar 4.6 Pembagian Sub-DAS dan Lokasi Stasiun Hujan di Kota Surabaya
(BPDAS dan DPU Pengairan Provinsi Jatim)

4.3 Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan yang maksimum. Hal ini bertujuan agar analisa dapat mendekati kondisi yang sebenarnya yang ada di lapangan. Data curah hujan tersebut didapatkan dari berbagai stasiun penakar hujan maupun stasiun-stasiun curah hujan yang terdapat di sekitar daerah aliran, yang dapat mewakili frekuensi curah hujan yang jatuh dalam daerah tangkapan hujan (*catchment area*).

Perhitungan debit genangan ini didasarkan pada besarnya curah hujan dalam periode ulang yang direncanakan, yaitu dalam tahun pengamatan selama 13 tahun. Jumlah hujan yang jatuh pada daerah tangkapan tidak selalu sama dan merata, maka berdasarkan data curah hujan dari berbagai stasiun curah hujan di daerah aliran dapat diperhitungkan menjadi curah hujan rata-rata pada suatu daerah tangkapan.

4.3.1 Curah Hujan Harian Maksimum

Untuk mengetahui besarnya curah hujan yang terjadi di DAS pesisir Surabaya-Sidoarjo diperlukan data curah hujan harian selama beberapa tahun terakhir pada stasiun penakar hujan yang terdekat. Data curah hujan harian yang digunakan diperoleh dari DPU Pengairan Provinsi Jawa Timur dan DPU Pengairan Kab. Sidoarjo yang merupakan data curah hujan harian selama 13 tahun terakhir (2000-2013), dari 39 stasiun penakar hujan. Data curah harian rata-rata dapat ditunjukkan pada lampiran 1.

Untuk mendapatkan *trend* perubahan daerah genangan yang terjadi pada periode 2009 dan 2013 maka pengolahan curah hujan juga dibagi ke dalam dua periode. Curah hujan yang digunakan diharapkan memiliki nilai yang merata pada lokasi penelitian, oleh karena itu perlu dilakukan interpolasi. Interpolasi dilakukan dengan menggunakan titik-titik stasiun di sekitar daerah penelitian. Data curah hujan yang telah diinterpolasi dianalisis untuk mendapatkan data curah hujan harian maksimum. Setelah dilakukan analisis, maka diperoleh data curah hujan harian maksimum untuk masing-masing sub-DAS. Berdasarkan tabel 4.10 di bawah diperoleh curah hujan harian maksimum pada periode 2009 untuk masing-masing sub-DAS dan tabel 4.11 untuk periode 2013.

Tabel 4.10 Data Curah Hujan Maksimum Periode 2009

Nama DAS	Nama Sub DAS	Curah Hujan Maksimum	Curah Hujan Minimum
BRANTAS	Sub DAS Greges	129.333	82.109
	Sub DAS Delta Brantas	107.029	82.4014
	Sub DAS Brantas	106.574	79.0211
	Sub DAS P Perak Barat	90.8185	89.9952
	Sub DAS Aforkedurus	105.153	81.8494
	Sub DAS Kalitengah	92.2624	90.5093
	Sub DAS Mas	0.3402	0
	Sub DAS Buntung	94.158	74.5336
	Sub DAS Jomblong	99.5262	77.1503
	Sub DAS Kedunguling	122.287	77.7002
	Sub DAS Ketapang	109.901	79.3601
	Sub DAS Pucang	116.634	78.3473
	Sub DAS Wilayut	104.578	80.8562

Sumber : Hasil Pengolahan

Tabel 4.11 Data Curah Hujan Maksimum Periode 2013

Nama DAS	Nama Sub DAS	Curah Hujan Maksimum	Curah Hujan Minimum
BRANTAS	Sub DAS Greges	112.997	44.6199
	Sub DAS Delta Brantas	117.805	84.021
	Sub DAS Brantas	123.197	88.7314

Nama DAS	Nama Sub DAS	Curah Hujan Maksimum	Curah Hujan Minimum
BRANTAS	Sub DAS P Perak Barat	104.81	104.012
	Sub DAS Aforkedurus	119.927	90.662
	Sub DAS Kalitengah	109.656	107.652
	Sub DAS Mas	0.3402	0
	Sub DAS Buntung	141.179	64.7842
	Sub DAS Jomblong	125.831	108.809
	Sub DAS Kedunguling	121.994	65.1006
	Sub DAS Ketapang	99.8223	72.5366
	Sub DAS Pucang	137.624	67.3145
	Sub DAS Wilayut	122.405	106.518

Sumber : Hasil Pengolahan

4.3.2 Analisa Frekuensi Curah Hujan

Analisa frekuensi curah hujan diperlukan untuk menentukan jenis sebaran (distribusi). Perhitungan analisa frekuensi curah hujan dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.12 Analisa Frekuensi Curah Hujan Periode 2009

No	Nama Sub DAS	Xi	(Xi-X)	(Xi-X) ²	(Xi-X) ³	(Xi-X) ⁴
1	Greges	129.333	30.980	959.735	29732.2033	921091.5381
2	Delta Brantas	107.029	8.676	75.266	652.9763	5664.9560
3	Brantas	106.574	8.221	67.578	555.5323	4566.8047
4	P Perak Barat	90.8185	-7.535	56.775	-427.7931	3223.3818
5	Aforkedurus	105.153	6.800	46.234	314.3754	2137.6249
6	Kalitengah	92.2624	-6.091	37.100	-225.9787	1376.4378
7	Buntung	94.158	-4.195	17.601	-73.8452	309.8109
8	Jomblong	99.5262	1.173	1.375	1.6131	1.8918
9	Kedunguling	122.287	23.934	572.817	13709.5647	328119.13
10	Ketapang	109.901	11.548	133.347	1539.8355	17781.39
11	Pucang	116.634	18.281	334.180	6109.0093	111676.31
12	Wilayut	104.578	6.225	38.746	241.1752	1501.2176
Jumlah		1278.5943		11947.344	-889443.923	93684000.4488
X		98.3534077				

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan di atas selanjutnya ditentukan jenis sebaran yang sesuai, dalam penentuan jenis sebaran diperlukan faktor-faktor sebagai berikut :

1. Standar Deviasi (S) yaitu ukuran sebaran statistik untuk mengukur bagaimana nilai-nilai data yang tersebar, dengan rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (4.1)$$

2. Koefisien *Skewness* (Cs) yaitu tingkat ketidaksimetrisan atau kejauhan simetri dari sebuah distribusi, dengan rumus :

$$C_s = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \times (n-2) \times S^3} \quad (4.2)$$

3. Koefisien Kurtosis (Ck) yaitu tingkat kepuncakan dari sebuah distribusi yang biasanya diambil secara relatif terhadap suatu distribusi normal, dengan rumus :

$$C_k = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n+3) \times S^4} \quad (4.3)$$

4. Koefisien Variasi (Cv) yaitu nilai perbandingan antara simpangan baku dengan nilai rata-rata dari data. Koefisien variasi berguna untuk melihat sebaran data dari data rata-rata hitungannya, dengan rumus :

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (4.4)$$

Dimana : n = Jumlah data

X_i = Data ke-i

\bar{X} = Nilai rata-rata dari data

S = Simpangan baku/standar deviasi

Tabel 4.13 Analisa Frekuensi Curah Hujan Periode 2013

No	Nama Sub DAS	X_i	$(X_i - X)$	$(X_i - X)^2$	$(X_i - X)^3$	$(X_i - X)^4$
1	Greges	112.997	-6.8	45.9	-310.8	2105.1
2	Delta Brantas	117.805	-2.0	3.9	-7.6	14.9
3	Brantas	123.197	3.4	11.7	40.2	137.8
4	P Perak Barat	104.81	-15.0	223.8	-3348.5	50095.3
5	Aforkedurus	119.927	0.2	0.0	0.0	0.0
6	Kalitengah	109.656	-10.1	102	-1035	10466
7	Buntung	141.179	21.4	458.3	9811.9	210056.5
8	Jomblong	125.831	6.1	36.7	222.6	1349.0
9	Kedunguling	121.994	2.2	4.9	11.0	24.4
10	Ketapang	99.8223	-19.9	397.9	-7938.1	158352.3
No	Nama Sub DAS	X_i	$(X_i - X)$	$(X_i - X)^2$	$(X_i - X)^3$	$(X_i - X)^4$
11	Pucang	137.624	17.9	318.7	5690.7	101597.5
12	Wilayut	122.405	2.6	6.9	18.3	48.2
Jumlah		1437.247		1611.2	3154.9	534247.4
X		119.771				

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.3 Penentuan Pola Distribusi Hujan

Penentuan pola distribusi atau sebaran curah hujan dilakukan dengan menganalisis data curah hujan harian maksimum yang diperoleh dengan menggunakan analisis frekuensi. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai untuk masing-masing parameter statistik adalah sebagai berikut.

Tabel 4.14 Parameter Statistik Analisis Frekuensi Periode 2009 dan 2013

Parameter	Nilai (2009)	Nilai (2013)
Rata-Rata (\bar{X})	98.353	119.771
Standar Deviasi (S)	11.833	12.103
Koefisien <i>Skewness</i> (C_s)	0.517	0.194
Koefisien Kurtosis (C_k)	0.874	0.905
Koefisien Variasi (C_v)	0.111	0.101

Sumber : Hasil Perhitungan

Dalam statistik terdapat beberapa jenis sebaran (distribusi), diantaranya yang sering digunakan dalam hidrologi adalah :

1. Distribusi Gumbel

2. Distribusi Log-Normal
3. Distribusi Log-Pearson tipe III
4. Distribusi Normal

Berikut ini adalah perbandingan syarat-syarat distribusi dan hasil perhitungan analisa frekuensi curah hujan.

Tabel 4.15 Perbandingan Syarat Distribusi dan Hasil Perhitungan

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil Perhitungan (2009)	Hasil Perhitungan (2013)
Gumbel	$C_s \leq 1.1396$	$0.5170 < 1.1396$	$0.194 < 1.1396$
	$C_k \leq 5.4002$	$0.8740 < 5.4002$	$0.905 < 5.4002$
Log Normal	$C_s = 3 C_v + C_v^2$	$0.5170 > 0.345$	$0.194 < 0.313$
Log Pearson tipe III	$C_s \approx 0$	$0.5170 > 0$	$0.194 > 0$
Normal	$C_s = 0$	$0.5170 \neq 0$	$0.194 \neq 0$

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hitungan parameter statistik yang diperoleh pada tabel 4.15 tersebut ditetapkan bahwa jenis distribusi yang cocok dengan sebaran data curah harian maksimum di wilayah studi pada tahun 2009 dan 2013 adalah distribusi *Gumbel* untuk menghitung curah hujan rancangan dengan berbagai kala ulang.

4.3.4 Pengujian Kecocokan Jenis Distribusi

Untuk menguji apakah distribusi yang dipilih dalam menghitung curah hujan rancangan berbagai kala ulang cocok dengan sebaran empirisnya maka dilakukan pengujian kecocokan distribusi. Dalam penelitian ini, menggunakan metode *Chi-kuadrat*. Uji *Chi-kuadrat* dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Hal ini diperlukan untuk mengetahui apakah data curah hujan yang ada sudah sesuai dengan jenis distribusi yang dipilih. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 yang dihitung dengan rumus :

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (4.5)$$

Dimana :

χ^2 = Harga *Chi-kuadrat*

G = Jumlah sub kelompok

O_r = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

E_r = Frekuensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya

Menurut Danapriatna dan Setiawan (2005), pada dasarnya uji ini merupakan pengecekan terhadap penyimpangan rerata data yang dianalisis berdasarkan distribusi terpilih. Penyimpangan tersebut diukur dari perbedaan antara nilai probabilitas setiap varian X menurut hitungan distribusi frekuensi teoritik (diharapkan) dan menurut hitungan dengan pendekatan empiris. Teknik pengujiaannya yaitu menguji apakah ada perbedaan yang nyata antara data yang diamati dengan data yang berdasarkan hipotesis nol (H_0).

Cara memberikan interpretasi terhadap *chi-kuadrat* adalah dengan menentukan df atau db (derajat kebebasan). Uji ini digunakan untuk data yang variabelnya tidak dipengaruhi oleh variabel lain dan diasumsikan bahwa sampel dipilih secara acak (Hartono, 2004),

Berikut ini adalah hasil perhitungan *chi-kuadrat*.

Tabel 4.16 Perhitungan Uji *Chi-Kuadrat* Periode 2009

No	Nilai Batasan	O_r	E_r	$(O_r - E_r)^2$	$(O_r - E_r)^2 / E_r$
1	$86.004 \leq X \leq 95.633$	3	2.4	0.36	0.15
2	$95.633 \leq X \leq 105.261$	3	2.4	0.36	0.15
3	$105.261 \leq X \leq 114.890$	3	2.4	0.36	0.15
4	$114.890 \leq X \leq 124.519$	2	2.4	0.16	0.07
5	$124.519 \leq X \leq 134.147$	1	2.4	1.96	0.82
Jumlah					1.33

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.17 Perhitungan Uji *Chi-Kuadrat* Periode 2013

No	Nilai Batasan	O_r	E_r	$(O_r - E_r)^2$	$(O_r - E_r)^2 / E_r$
1	$86.004 \leq X \leq 95.633$	2	2.4	0.16	0.067
2	$95.633 \leq X \leq 105.261$	2	2.4	0.16	0.067
3	$105.261 \leq X \leq 114.890$	5	2.4	6.76	2.817
4	$114.890 \leq X \leq 124.519$	1	2.4	1.96	0.817
5	$124.519 \leq X \leq 134.147$	2	2.4	0.16	0.067
Jumlah					3.833

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan tabel 4.16 di atas didapatkan nilai X^2 sebesar 1.33. Sedangkan tabel 4.17 di atas di dapatkan nilai X^2 sebesar 3.833. Dimana nilai tersebut kurang dari nilai X^2 pada tabel uji *Chi-Kuadrat* yang besarnya 7.815. Oleh karena itu pengujian kecocokan jenis penyebaran Distribusi *Gumbel* dapat diterima. Hal ini berarti bahwa distribusi observasi (pengamatan) dan distribusi teoritis (yang diharapkan) tidak berbeda secara nyata.

4.3.5 Perhitungan Intensitas Hujan

Untuk menentukan besarnya debit genangan prediksi yang akan terjadi di daerah penelitian, maka terlebih dahulu dicari kemungkinan intensitas hujan. Metode yang digunakan dalam perhitungan intensitas hujan ini adalah metode *Gumbel*. Berikut ini adalah rumus dari Metode *Gumbel*.

$$X_t = \bar{X} + \frac{S}{S_n} \times (Y_t - Y_n) \quad (4.6)$$

Dimana :

X_t = Curah hujan rencana dengan periode ulang t tahun (mm)

\bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm)

S = Standar deviasi (Simpangan Baku)

S_n = *Deviation standard of reduced variate*

Y_t = *Reduced variate*

Y_n = *Mean of reduced variate*

Untuk nilai Y_n dan S_n didapatkan dari tabel hubungan *Mean of Reduced Variate* (Y_n) dan *Standard Deviation of The Reduced Variate* (S_n) serta dengan jumlah tahun pengamatan (n). Sedangkan nilai Y_t didapat dari tabel hubungan periode ulang (T) dengan *Reduced Variate* (Y_t).

Berikut ini adalah hasil perhitungan intensitas hujan dengan menggunakan metode *Gumbel* ditunjukkan pada tabel 4.18 dan tabel 4.19.

Tabel 4.18 Perhitungan Curah Hujan Maksimum Periode 2009

No	Periode Ulang (Tahun)	\bar{X}	S	Y _t	Y _n	S _n	Hujan Maksimum
1	2	98.353	11.833	0.3665	0.4952	0.9496	96.74926
2	5	98.353	11.833	1.4999	0.4952	0.9496	110.8726
3	10	98.353	11.833	2.2502	0.4952	0.9496	120.2221
4	20	98.353	11.833	2.9606	0.4952	0.9496	129.0744

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.19 Perhitungan Curah Hujan Maksimum Periode 2013

No	Periode Ulang (Tahun)	\bar{X}	S	Y _t	Y _n	S _n	Hujan Maksimum
1	2	119.771	12.1028	0.3665	0.4952	0.9496	118.131
2	5	119.771	12.1028	1.4999	0.4952	0.9496	132.576
3	10	119.771	12.1028	2.2502	0.4952	0.9496	142.139
4	20	119.771	12.1028	2.9606	0.4952	0.9496	151.193

Sumber : Hasil Perhitungan

Untuk mendapatkan intensitas hujan dalam periode 1 jam dari data curah hujan harian maksimum digunakan persamaan 2.7. Adapun waktu konsentrasi (t_c) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8. Perhitungan ini dilakukan karena data curah hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data curah hujan harian. Berikut ini adalah nilai intensitas hujan maksimum dalam waktu per jam untuk periode 2009 dan 2013.

Tabel 4.20 Nilai Intensitas Hujan Maksimum Periode 2009

No	Nama Sub DAS	Intensitas Maks (mm/jam)			
		2 Th	5 Th	10 th	20 th
1	Sub DAS Greges	9.10	9.76	10.19	10.58
2	Sub DAS Delta Brantas	-	-	-	-
3	Sub DAS Brantas	-	-	-	-
4	Sub DAS Aforkedurus	-	-	-	-
5	Sub DAS Kalitengah	-	-	-	-
6	Sub DAS Buntung	1.76	1.93	2.04	2.14
7	Sub DAS Jomblong	6.42	7.02	7.41	7.76
8	Sub DAS Kedunguling	1.52	1.64	1.71	1.78
9	Sub DAS Ketapang	4.35	4.72	4.96	5.18
10	Sub DAS Pucang	2.81	3.03	3.18	3.31
11	Sub DAS Wilayut	2.88	3.13	3.30	3.45

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.21 Nilai Intensitas Hujan Maksimum Periode 2013

No	Nama Sub DAS	Intensitas Maks (mm/jam)			
		2 Th	5 Th	10 th	20 th
1	Sub DAS Greges	8.31	9.00	9.44	9.85
2	Sub DAS Delta Brantas	-	-	-	-
3	Sub DAS Brantas	-	-	-	-
4	Sub DAS Aforkedurus	-	-	-	-
5	Sub DAS Kalitengah	-	-	-	-
6	Sub DAS Buntung	2.31	2.47	2.57	2.66
7	Sub DAS Jomblong	7.52	8.09	8.46	8.80
8	Sub DAS Kedunguling	1.52	1.64	1.71	1.78
9	Sub DAS Ketapang	4.07	4.47	4.71	4.94
10	Sub DAS Pucang	3.14	3.36	3.50	3.63
11	Sub DAS Wilayut	3.20	3.45	3.61	3.76

Sumber : Hasil Perhitungan

4.4 Jenis Tanah

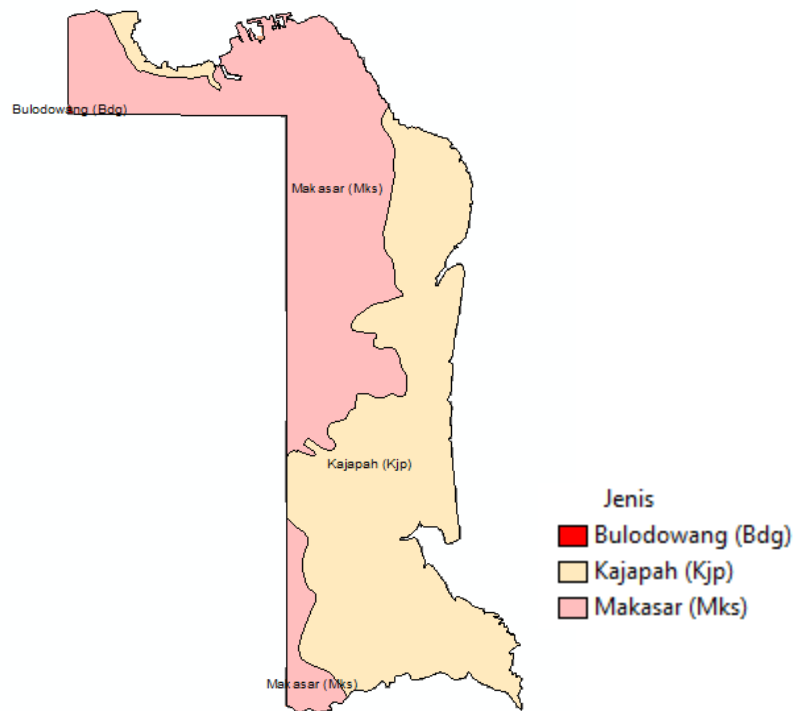
Berdasarkan Peta Jenis Tanah tahun 1989 yang didapat dari BPPLSP Bogor, jenis tanah kawasan pesisir Surabaya-Sidoarjo dapat di kelompokkan menjadi 3 kelas, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.22.

Tabel 4.22 Jenis tanah serta luasannya dalam Hektar dan persen

No	Jenis Tanah	Luas (Ha)	Luas (%)
1	KJP (Kajapah)	23738.71	52.68781
2	MKS (Makasar)	21301.03	47.27742
3	BDG (Buludowang)	15.6677	0.034774
Total		45055.41	100

Sumber : Hasil Pengolahan

Pada Daerah pantai Surabaya-Sidoarjo, jenis tanah yang mendominasi adalah KJP, dengan luas 23738.71 Ha berada mendekati pantai dan berbatasan dengan laut yang sebagian besar terdiri dari tambak dan rawa-rawa. Sedangkan di sepanjang pesisir Surabaya-Sidoarjo dan sebagian tengah Surabaya memiliki jenis tanah berupa MKS seluas 21301.03 Ha. Berikut ini adalah gambar persebaran jenis tanah di Pesisir Surabaya-Sidoarjo.



Gambar 4.7 Jenis Tanah Kawasan Pesisir Surabaya-Sidoarjo

a. BDG (Buludowang)/Teras

BDG terdiri dari daratan sedimen bertuva yang berombak pada daerah kering, dengan kemiringan 2-8%. jenis batuan tefra berbutir halus, batu pasir, batu lumpur, dan tufit.

Terdiri dari *haplustults*, *dystropepts*, *cromusterts*, dengan lapisan atas agak halus dan lapisan bawah halus. Sehingga berdasarkan bahaya lingkungan merupakan sistem lahan yang mengandung bahaya erosi ringan.

b. KJP (Kajapah)/Rawa Pasang Surut

Kelas ini merupakan daerah rawa antar pasang surut dengan kemiringan kurang dari 2%, jenis batuan atau mineral dominan aluvium muda berasal dari campuran muara dan endapan laut.

Berdasar kelompok besar taksonomi tanah USDA 1975, terdiri dari *hydraquents* dan *sulfaquents*, dengan tekstur lapisan atas dan lapisan bawah halus. Sehingga berdasarkan bahaya lingkungan merupakan sistem lahan yang rawan tergenang secara permanen.

c. MKS (Makasar)/Daratan Aluvial

Kelas MKS merupakan gabungan endapan muara dan endapan sungai pada daerah kering, dengan rata-rata kemiringan kurang dari 2%. Mineral

dominan terdiri dari aluvium muda yang berasal dari campuran endapan muara, endapan laut dan endapan sungai. berdasar USDA 1975, terdiri dari *tropoqepts*, *fluvaquents*, *ustropepts*, dengan lapisan atas dan lapisan bawah halus. Sehingga berdasarkan bahaya lingkungan merupakan sistem lahan yang sering banjir.

4.5 Overlay dan Skoring

Untuk memprediksi daerah rawan genangan diperlukan beberapa parameter antara lain tutupan lahan, jenis tanah, serta curah hujan. Berikut merupakan tabel kriteria skoring.

Tabel 4.23 Parameter Daerah Rawan Genangan dan Nilai

Variabel	Sub Variabel	Skor	Bobot	Total
Curah Hujan	< 1452 mm/th	3	5	15
	1452–1740 mm/th	3		15
	1740–2789 mm/th	4		20
	≥ 2789 mm/th	4		20
Jenis Tanah	Kajapah (Kjp)	1	3	3
	Makasar (Mks)	2		6
	Bulodowang (Bdg)	3		9
Tutupan Lahan	badan air	9	2	18
	lahan terbuka	9		18
	pemukiman	7		14
	industri	7		14
	sawah	6		12
	vegetasi	4		8
	tambak	9		18
	Sungai	9		18

Sumber : Studi Literatur dan Modifikasi Penulis

Kriteria tingkat kerentanan dikategorikan dalam 4 kelas, yaitu :

- Kurang Rawan
- Rawan
- Sangat Rawan
- Genangan Permanen

Dengan proses *overlay* akan dihasilkan data spasial baru (data analisis). Pada data analisis, nilai skor dari setiap area di jumlahkan. Dengan membagi

selisih nilai tersebut dengan jumlah parameter yang berpengaruh terhadap genangan.

4.6 Perhitungan Debit Maksimum

Metode yang digunakan untuk menghitung debit maksimum adalah Metode Rasional, perhitungan debit maksimum dilakukan menggunakan persamaan 2.6.

Dalam perhitungan debit banjir menggunakan metode rasional, diperlukan data koefisien limpasan (C). Koefisien limpasan ini merupakan angka yang secara empiris dihitung berdasarkan parameter DAS yakni tutupan lahan dan jenis tanah. Koefisien limpasan pada daerah penelitian dihitung dengan menggunakan persamaan 2.9. Berikut ini adalah hasil dari perhitungan koefisien limpasan tiap Sub DAS.

Tabel 4.24 Koefisien Limpasan tiap Sub DAS

No	Nama Sub DAS	Harga 'C'
1	Sub DAS Greges	0.579
2	Sub DAS Delta Brantas	-
3	Sub DAS Brantas	-
4	Sub DAS P Perak Barat	-
5	Sub DAS Aforkedurus	-
6	Sub DAS Kalitengah	-
7	Sub DAS Buntung	0.537
8	Sub DAS Jomblong	0.592
9	Sub DAS Kedunguling	0.55
10	Sub DAS Ketapang	0.522
11	Sub DAS Pucang	0.535
12	Sub DAS Wilayut	0.564

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan data yang telah diperoleh di atas, maka dapat dihitung debit maksimum pada masing-masing sub DAS dengan metode rasional sesuai dengan persamaan 2.6 untuk berbagai kala ulang tertentu. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.25 dan tabel 4.26.

Tabel 4.25 Perhitungan Debit Maksimum Periode 2009

No	Nama Sub DAS	Qmaks (m ³ /detik)			
		2 th	5 th	10 th	20 th
1	Sub DAS Greges	95.98	102.93	107.41	111.56
2	Sub DAS Delta Brantas	-	-	-	-
3	Sub DAS Brantas	-	-	-	-
4	Sub DAS P Perak Barat	-	-	-	-
5	Sub DAS Aforkedurus	-	-	-	-
6	Sub DAS Kalitengah	-	-	-	-
7	Sub DAS Buntung	31.06	34.15	36.12	37.93
8	Sub DAS Jomblong	48.77	53.36	56.29	58.99
9	Sub DAS Kedunguling	40.30	43.39	45.37	47.21
10	Sub DAS Ketapang	49.35	53.55	56.25	58.74
11	Sub DAS Pucang	44.49	48.06	50.35	52.47
12	Sub DAS Wilayut	21.31	23.22	24.44	25.57

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.26 Perhitungan Debit Maksimum Periode 2013

No	Nama Sub DAS	Qmaks (m ³ /detik)			
		2 th	5 th	10 th	20 th
1	Sub DAS Greges	87.61	94.87	99.52	103.83
2	Sub DAS Delta Brantas	-	-	-	-
3	Sub DAS Brantas	-	-	-	-
4	Sub DAS P Perak Barat	-	-	-	-
5	Sub DAS Aforkedurus	-	-	-	-
6	Sub DAS Kalitengah	-	-	-	-
7	Sub DAS Buntung	40.84	43.62	45.40	47.06
8	Sub DAS Jomblong	57.15	61.50	64.29	66.88
9	Sub DAS Kedunguling	40.30	43.39	45.37	47.21
10	Sub DAS Ketapang	46.23	50.66	53.49	56.10
11	Sub DAS Pucang	49.74	53.20	55.43	57.50
12	Sub DAS Wilayut	23.70	25.55	26.75	27.85

Sumber : Hasil Perhitungan

Untuk mengetahui jumlah limpasan yang berlebih di daerah penelitian, maka dibutuhkan data debit maksimum eksisting. Limpasan genangan didapatkan dari selisih debit maksimum perhitungan dengan data debit maksimum eksisting. Berikut ini adalah data debit maksimum eksisting masing-masing Sub DAS.

Tabel 4.27 Data Debit Maksimum Eksisting

No	Nama Sub DAS	Q (m ³ /detik)
1	Sub DAS Greges	73.918
2	Sub DAS Delta Brantas	-
3	Sub DAS Brantas	-
4	Sub DAS P Perak Barat	-
5	Sub DAS Aforkedurus	-
6	Sub DAS Kalitengah	-
7	Sub DAS Buntung	94.2
8	Sub DAS Jomblong	18.2
9	Sub DAS Kedunguling	115
10	Sub DAS Ketapang	52.6
11	Sub DAS Pucang	91
12	Sub DAS Wilayut	45.45

Sumber : Dinas PU Pengairan

4.7 Hasil dan Analisa

4.7.1 Daerah Rawan Genangan dengan Pembobotan

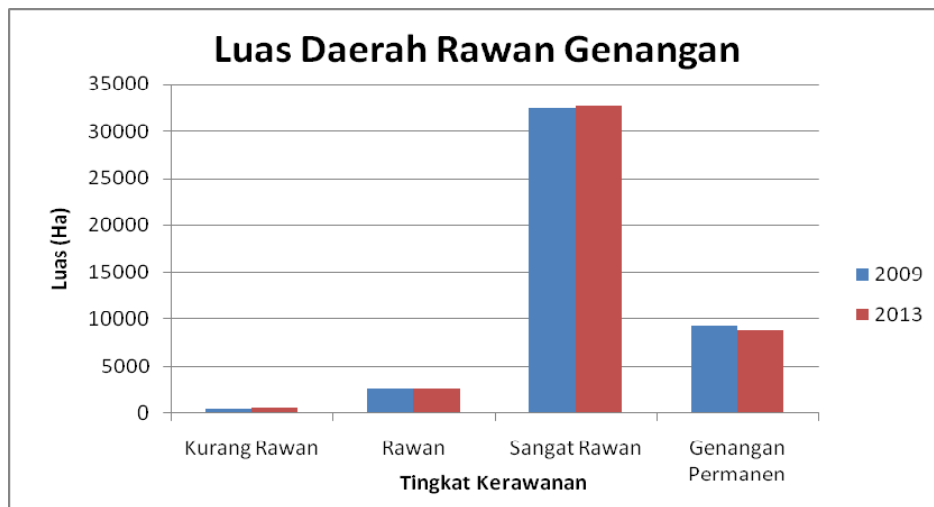
Dari hasil yang didapatkan dari proses *overlay* beberapa peta tematik dan proses skoring pada daerah penelitian didapatkan grafik perubahan luasan yang terjadi pada tahun 2009 dan tahun 2013 yang ditunjukkan pada tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 4.28 Luas Daerah Genangan Berdasarkan Tingkat Kerawanan

Keterangan	Luas (Ha)	
	2009	2013
Kurang Rawan	463.96	615.82
Rawan	2614.71	2585.46
Sangat Rawan	32455.50	32700.90
Genangan Permanen	9394.27	8917.57

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari tabel hasil perhitungan luas daerah genangan berdasarkan tingkat kerawanan, berikut ini adalah grafik perbedaan luasan daerah rawan genangan di Pesisir Surabaya-Sidoarjo.



Gambar 4.8 Grafik Luas Daerah Rawan Genangan

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.28 dan gambar 4.8, terjadi penambahan dan pengurangan luasan pada masing-masing kelas. Untuk kelas kurang rawan, pada tahun 2013 terjadi penambahan luasan hingga 151.86 Hektar. Hal ini dapat terjadi mengingat bertambahnya luasan vegetasi dari tahun 2009 hingga 2013. Daerah rawan genangan Pesisir Surabaya Sidoarjo pada tahun 2009 dan 2013 dengan kelas kurang rawan sebagian besar mempunyai tutupan lahan berupa vegetasi dengan curah hujan <1450 mm/tahun. Dimana kelas tutupan lahan ini memiliki kemampuan untuk penyerapan air yang lebih baik sehingga dapat disebut sebagai daerah yang kurang rawan terjadi genangan.

Untuk daerah rawan genangan dengan kelas rawan pada tahun 2013 mengalami penurunan. Hal ini berbanding lurus dengan penurunan yang terjadi pada luasan tutupan lahan sawah. Untuk daerah rawan genangan dengan kelas sangat rawan pada tahun 2013 terjadi penambahan luasan. Hal ini dapat terjadi mengingat bertambahnya luasan pemukiman dari tahun 2009 hingga 2013. Untuk daerah rawan genangan dengan kelas sangat rawan, sebagian besar mempunyai tutupan lahan berupa pemukiman dengan curah hujan 1452 – 1740 mm/th. Jenis tanah pada daerah ini berupa KJP dan MKS, dimana jenis tanah tersebut berdasar USDA 1975 mudah terjadi banjir. Kelas sangat rawan genangan ini tersebar di beberapa Kecamatan yaitu Kecamatan Buduran, Sedati dan Bulak. Sedangkan kelas genangan permanen terjadi

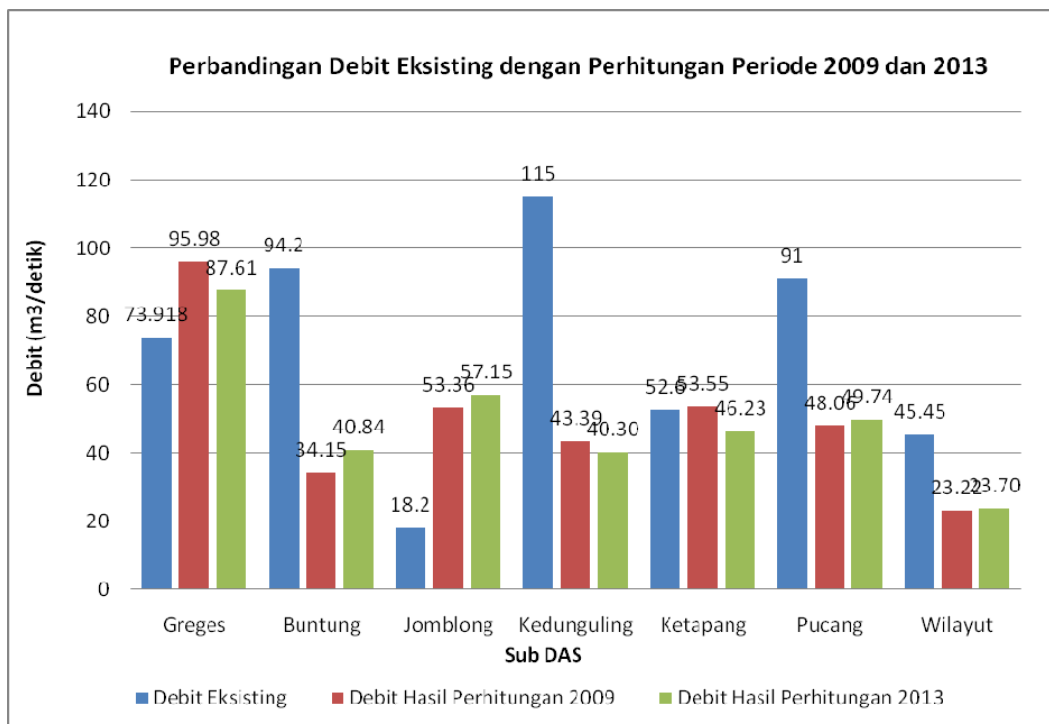
penurunan pada tahun 2013, mengingat berkurangnya juga luasan tutupan lahan tambak dari tahun 2009 hingga 2013. Tutupan lahan pada kelas genangan permanen ini sebagian besar memang berupa tambak dengan jenis tanah KJP. Kelas genangan ini tersebar di beberapa kecamatan yaitu Kecamatan Sedati dan Kecamatan Benowo.

Menurut penelitian (Ardi, 2010), kawasan pesisir pantai Surabaya Sidoarjo didominasi kelas genangan permanen yang sebagian besar terdapat pada tutupan lahan tambak yang juga merupakan tutupan lahan terbesar pada daerah tersebut yang mengindikasikan bahwa tutupan lahan merupakan parameter terpenting yang mempengaruhi tingkat kerentanan daerah genangan. Namun, berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada tabel 4.28, kawasan pesisir pantai Surabaya-Sidoarjo didominasi oleh kelas genangan sangat rawan. Hal ini terjadi karena persebaran hujan dengan intensitas yang tinggi di daerah tersebut yaitu 1452 – 1740 mm pada tahun 2009 dan >1740 mm pada tahun 2013. Sehingga mengindikasikan bahwa selain tutupan lahan, curah hujan juga mempengaruhi tingkat kerawanan daerah genangan. Menurut penelitian yang dilakukan Bioresita Filsa (2013), curah hujan akan berpengaruh apabila disertai dengan variabel atau parameter-parameter yang lain seperti tutupan lahan, ketinggian wilayah, kelerengan dan jenis tanah untuk dapat membuat pemodelan prakiraan genangan yang tepat.

Dalam menentukan daerah rawan genangan, ketinggian dan kelerengan merupakan salah satu variabel yang berpengaruh terhadap variabel lain. Namun pada penelitian ini, ketinggian dan kelerengan wilayah tidak dimasukkan ke dalam parameter penentuan daerah rawan genangan mengingat nilai kelerengan pesisir Surabaya Sidoarjo berada diantara 0 – 2 % yang merupakan daerah dengan kelerengan sangat datar (Rahmah, 2008). Berdasarkan penelitian (Ardi, 2010), semua kelas kerentanan genangan berada pada ketinggian dan kelerengan kurang dari 2%. Sehingga dapat dikatakan bahwa penggunaan parameter ketinggian dan kelerengan untuk daerah yang memiliki ketinggian sangat datar tidak terlalu signifikan untuk

curah hujan dan jenis tanah, parameter lain yang dapat digunakan untuk menentukan daerah rawan genangan adalah memperhatikan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan menghitung debit maksimumnya.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode rasional didapatkan debit maksimum pada masing-masing Sub DAS di daerah penelitian. Dengan melakukan perbandingan antara debit eksisting dan hasil perhitungan, didapatkan suatu selisih debit maksimum yang ditunjukkan pada grafik batang di bawah ini.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Debit Eksisting dengan Hasil Perhitungan Periode 2009 dan 2013

Selisih debit maksimum di atas berarti jika nilai debit pada hasil perhitungan lebih tinggi dari debit eksisting masing-masing sub DAS, maka akan terjadi luapan pada daerah tersebut. Luapan tersebut yang nantinya akan menjadi genangan. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa di antara keenam Sub DAS di pesisir Sidoarjo yang telah dihitung, pada periode 2009 ada dua nilai debit perhitungan yang lebih tinggi dari debit eksisting, yaitu Sub DAS Jomblong dan Sub DAS Ketapang. Sub DAS Ketapang hanya kelebihan debit sebesar $0.95 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sedangkan Sub DAS Jomblong memiliki

kelebihan debit yang sangat besar, yaitu $35.16 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dengan demikian, menurut perhitungan dengan metode rasional, pada periode 2009 diperkirakan kedua sub DAS tersebut rawan terkena genangan air hujan. Sedangkan untuk periode 2013, ada satu sub DAS yang memiliki nilai debit maksimum melebihi debit eksistingnya, yaitu Sub DAS Jomblong. Sub DAS Jomblong memiliki kelebihan debit sebesar $38.95 \text{ m}^3/\text{detik}$, dimana jumlah tersebut lebih tinggi dari periode 2009. Sehingga dapat diartikan bahwa pada tahun 2013, kawasan rawan genangan juga akan semakin bertambah.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Hardaningrum, dkk (2005), Sub DAS Jomblong memiliki kelebihan debit sebesar $64.82 \text{ m}^3/\text{detik}$, dengan tutupan lahan berupa pemukiman renggang, sawah dan tambak. Tekstur tanah di sub DAS tersebut berupa lempung dan lempung berlumpur, dimana kedua jenis ini sulit untuk menyerap air.

Sehingga dapat dikatakan bahwa, Sub DAS tersebut memang rawan terjadi genangan. Hal ini juga dibuktikan dengan data riwayat genangan dari Dinas PU Pengairan Sidoarjo bahwa Sub DAS Jomblong memiliki tinggi genangan 50 – 60 cm dan luas genangan dalam radius 300 meter pada setiap lokasi genangan.

Daerah rawan genangan berdasarkan perhitungan debit maksimum sebagian besar berada di Kecamatan Buduran, Sedati, Jabon, Tanggulangin dan Porong. Untuk Kecamatan Buduran meliputi Desa Damarsi, Prasung dan Sawohan. Sedangkan untuk Kecamatan Sedati meliputi Desa Kalanganyar dan Sedatigede. Kecamatan Jabon juga merupakan daerah rawan terjadi genangan, meliputi Desa Kupang, Balongtani, Tambak Kalisogo dan Desa Permisan. Untuk Kecamatan Tanggulangin meliputi Desa Penatar Sewu. Kecamatan yang terakhir adalah Kecamatan Porong, meliputi Desa Plumbon.

Sedangkan untuk Sub DAS Greges yang merupakan salah satu sub DAS yang ada di Pesisir Surabaya, berdasarkan hasil perhitungan dari periode 2009 dan 2013 selalu menunjukkan debit air yang tinggi. Pada periode 2009, Sub DAS Greges memiliki kelebihan debit sebesar $22.06 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sedangkan pada tahun 2013, Sub DAS Greges memiliki kelebihan debit sebesar $13.692 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dengan demikian, menurut perhitungan

dengan metode rasional, pada periode 2009 dan 2013 diperkirakan sub DAS tersebut rawan terkena genangan air hujan.

Prediksi daerah rawan genangan yang didapatkan dari hasil *overlay* dan perhitungan debit maksimum menunjukkan hasil yang berbanding lurus. Beberapa Kecamatan yang diperkirakan merupakan daerah rawan genangan berdasarkan perhitungan, pada hasil *overlay* dan skoring berada pada kelas yang sangat rawan. Pada tahun 2009 hingga 2013, terjadi perubahan limpasan debit air yang melebihi debit eksisting. Sub DAS Jomblong memiliki peningkatan jumlah debit limpasan sebesar $3.79 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sehingga dapat dikatakan bahwa di daerah tersebut terjadi peningkatan daerah genangan sebesar 5% dalam rentang waktu 5 tahun. Apabila terjadi peningkatan daerah genangan sebesar 5% akibat limpasan air yang berlebih dalam rentang tahun 2009 hingga 2013 maka dapat diperkirakan sekitar 230.80 Hektar lahan akan tergenang di daerah rawan tersebut. Hal ini berbanding lurus dengan peningkatan daerah sangat rawan berdasarkan pengolahan citra satelit Landsat-7 ETM+ tahun 2009 dan Landsat 8 tahun 2013, yaitu sebesar 245.40 Hektar. Berdasarkan perhitungan koefisien limpasan di Sub DAS Jomblong, didapatkan nilai koefisien yang tinggi yaitu 0.592. Hal ini berarti Sub DAS tersebut memiliki kualitas Sub DAS yang kurang baik. Pada DAS yang baik harga C mendekati nol dan semakin rusak suatu DAS maka harga C semakin mendekati satu (Kodoatie, 2002). Koefisien yang tinggi disebabkan karena penambahan jumlah luas pemukiman di daerah penelitian selama tahun 2009-2013 sebesar 1755.92 Hektar. Apabila kondisi seperti ini tetap sama, maka dapat diprediksikan bahwa luas daerah genangan akan semakin bertambah di masa yang akan datang. Sehingga perlu dilakukan pemodelan sistem dinamik untuk mengetahui daerah rawan genangan di masa yang akan datang.

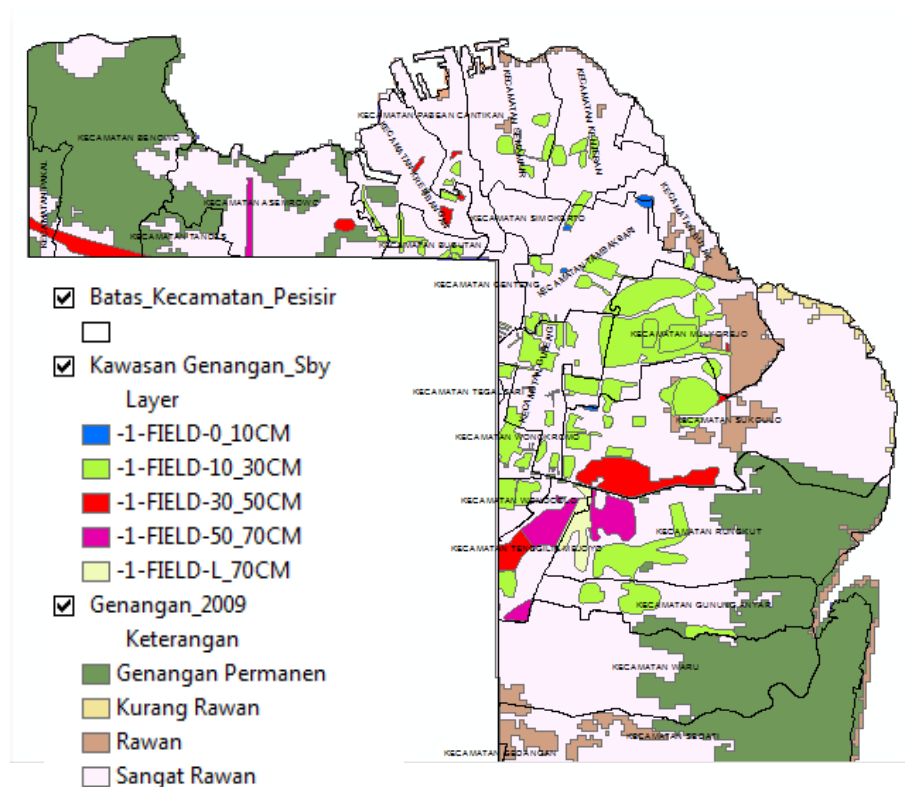
Sedangkan untuk Sub DAS Greges, memiliki pengurangan jumlah debit limpasan air sebesar $8.36 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sehingga dapat dikatakan bahwa sekitar 23% atau seluas 1506.7 Hektar dari daerah rawan genangan berkurang dalam rentang waktu 2009-2013. Meskipun terjadi penurunan daerah genangan, di Sub DAS Greges tetap menjadi daerah rawan genangan karena

memiliki nilai debit limpasan yang melebihi debit eksistingnya dengan koefisien limpasan sebesar 0.579.

Berdasarkan penelitian (Priyono, 2012), genangan yang terjadi pada Sub DAS Greges berada pada beberapa kelurahan antara lain, Kelurahan Dupak, Kelurahan Dukuh, Kelurahan Petemon, Kelurahan Simomulyo, Kelurahan Banyu Urip dan beberapa wilayah lain dengan presentase luas genangan yang sering terjadi sebesar 22.95 %. Tinggi genangan yang terjadi mencapai $\pm 0.5 - 1$ meter dan lama genangan yang terjadi ± 3.5 jam. Faktor-faktor penyebab timbulnya genangan pada Sub DAS Greges antara lain adalah penyumbatan sampah buangan masyarakat dan sedimentasi pada Saluran Greges dan boezem Morokrembangan yang menyebabkan berkurangnya kapasitas dalam menampung debit air hujan.

Dari permasalahan yang dianalisis pada Sub DAS Greges, maka solusi yang perlu dilakukan untuk mengatasi genangan adalah dengan merencanakan kapasitas baru atau normalisasi pada Saluran Greges. Dengan adanya dimensi baru pada saluran Greges maka debit banjir pada Sub DAS tersebut dapat dikendalikan. Hal yang sama dapat pula dilakukan untuk Sub DAS-Sub DAS yang memiliki kapasitas penampungan debit air hujan yang rendah.

Berikut ini adalah daerah rawan genangan hasil perhitungan metode rasional.



Gambar 4.12 Data Riwayat Genangan Pesisir Surabaya

Perubahan penggunaan lahan peruntukan dari pertanian ke pemukiman mengakibatkan perubahan fungsi saluran irigasi menjadi saluran drainase. Saat ini pembenahan saluran ini belum maksimal sehingga menimbulkan kawasan genangan.

Genangan di daerah pesisir Surabaya didominasi dengan tinggi genangan 10-30 cm dengan luas 2852.41 Hektar. Berdasarkan hasil *overlay* dan skoring daerah rawan genangan, daerah yang memiliki tinggi genangan 10-30 cm sebagian besar berada pada kelas sangat rawan. Daerah ini berada pada Kecamatan Mulyorejo, Krembangan, Sukolilo, Gubeng, Tambaksari dan Tenggilis Mejoyo. Berikut ini adalah data riwayat genangan di Pesisir Surabaya.

Tabel 4.29 Data Riwayat Genangan dan Kelas Genangan tahun 2009

Tinggi Genangan	Luas (Ha)	Kelas Genangan Tahun 2009		
		Rawan (Ha)	Sangat Rawan (Ha)	Genangan Permanen (Ha)
0 - 10 cm	25.50394	-	25.50394	-
10 - 30 cm	2852.414661	195.201084	2646.811622	5.91504

Tinggi Genangan	Luas (Ha)	Kelas Genangan Tahun 2009		
		Rawan (Ha)	Sangat Rawan (Ha)	Genangan Permanen (Ha)
30 - 50 cm	452.844314	0.699924	425.929199	21.937521
50 - 70 cm	293.81869	-	293.322093	0.075461
> 70 cm	109.475	-	109.132	0.343117

Sumber : Bappeko Surabaya (2013) dan Hasil Perhitungan

Berikut ini adalah titik-titik lokasi genangan di Pesisir Surabaya.

- Jl. Semolowaru Elok dan sekitarnya, Kelurahan Semolowaru, Kecamatan Sukolilo
- Jl. Semolowaru Utara dan sekitarnya, Kelurahan Semolowaru, Kecamatan Sukolilo
- Jl. Manyar Rejo dan sekitarnya, Kelurahan Menur Pumpungan, Kecamatan Sukolilo
- Jl. Manyar Sabrangan dan sekitarnya, Kelurahan Manyar Sabrangan, Kecamatan Gubeng
- Jl. Gebang Wetan dan sekitarnya, Kelurahan Gebang Putih, Kecamatan Sukolilo
- Genangan di suatu kawasan di Kelurahan Mulyorejo, Kecamatan Mulyorejo
- Genangan di suatu kawasan di Kelurahan Mojo, Kecamatan Gubeng
- Jl. Kalijudan dan sekitarnya, Perumahan Kalijudan Indah dan sekitarnya, Komplek Perumahan Babadan Indah (Kel. Kalijudan, Kecamatan Tambaksari)
- Jl. Setro dan sekitarnya, Jl. Karang Asem dan sekitarnya, Jl. Lebak Jaya dan sekitarnya (Kelurahan Gading, Kecamatan Tambaksari)
- Jl. Tambak Rejo dan sekitarnya, Kelurahan Tambak Rejo dan Jl. Rangkah dan sekitarnya (Kelurahan Rangkah, Kecamatan Tambaksari)

Berdasarkan hasil pengolahan, daerah genangan di Pesisir Sidoarjo terjadi di Kecamatan Buduran, Sedati, Jabon, Tanggulangin dan Porong. Berikut ini adalah data riwayat genangan di beberapa Kecamatan di atas.

Tabel 4.30 Data Riwayat Genangan Pesisir Sidoarjo

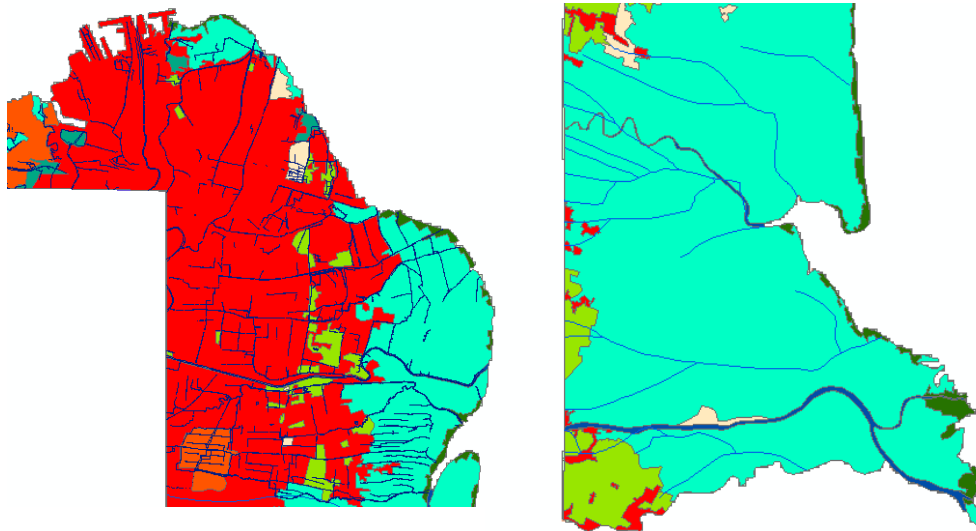
Kecamatan	Desa	Lama Genangan	Ketinggian (cm)	Luas
Buduran	Siwalan Panji	24 jam	30	-
	Wadung Asih	24 jam	15	-
	Prasung	24 jam	40	-
	Sidokerto	-	15	-
	Sidomulyo	2 hari	30 - 40	-
	Buduran	2 hari	30	-
	Damarsi	5 hari	30	-
Tanggulangun	Banggang malang	24 jam	15	-
	Ganggangpanjang	-	30	-
Jabon	semambung	-	-	130
	kedungrejo	-	-	42
	balongtani	-	-	68
	pangreh	-	-	30
	kupang	-	-	194
Porong	Wonot	-	-	12
	Candipari	-	-	6
	Pesawahan	-	-	15
	Kedungboto	-	-	7
	Plubon	-	-	56
Sedati	Semampir	2 hari	20 - 50	-
	Sedatigede	2 hari	30 - 50	-

Sumber : DPU Pengairan Kab. Sidoarjo (2014)

4.9 Perubahan Pola Aliran

Dari Interpretasi pada citra Landsat tahun 2009 dan tahun 2013 dapat diketahui bahwa berdasarkan pola aliran sungai pesisir Surabaya dan Sidoarjo dapat dibedakan sebagai berikut:

Daerah pesisir Surabaya bagian utara sampai perbatasan Sidoarjo didominasi oleh pola aliran Paralel yaitu anak sungai utama saling sejajar atau hampir sejajar, bermuara pada sungai-sungai utama dengan sudut lancip atau langsung bermuara ke laut. Berkembang di lereng yang terkontrol oleh struktur (lipatan monoklinal, isoklinal, sesar yang saling sejajar dengan spasi yang pendek) atau dekat pantai.



Gambar 4.13 Pola Aliran Pesisir Surabaya (Kiri) dan Sidoarjo (Kanan)

Sedangkan daerah pesisir Sidoarjo lebih di dominasi oleh pola aliran sungai Dendritik yaitu seperti percabangan pohon, percabangan tidak teratur dengan arah dan sudut yang beragam. Berkembang di batuan yang homogen dan tidak terkontrol oleh struktur, umumnya pada batuan sedimen dengan perlapisan horisontal, atau pada batuan beku dan batuan kristalin yang homogen. Pola aliran sungai pada 2009 – 2013 relatif tetap.

Berdasarkan asal airnya sungai pada pesisir Surabaya Sidoarjo tergolong Sungai hujan. Sungai hujan adalah sungai yang airnya berasal dari air hujan atau sumber mata air dan daerah alirannya ditutupi oleh vegetasi. Hal ini dapat dilihat pada lampiran 1 yang menunjukkan bahwa curah hujan di kawasan pesisir Surabaya-Sidoarjo yang relatif tinggi.

4.10 Pemodelan Sistem Dinamik Daerah Genangan

Setelah mengetahui daerah rawan genangan yang didapatkan dari hasil *overlay* dan skoring serta perhitungan matematis menggunakan metode rasional, maka untuk mengetahui *trend* genangan di masa yang akan datang dilakukan pemodelan dinamis. Periode yang digunakan adalah hingga 2 tahun ke depan. Dalam hal ini, daerah yang dimodelkan adalah daerah yang lebih rawan terjadi genangan dan memiliki saluran yang tidak mampu menampung limpasan air hujan

berdasarkan pembobotan dan perhitungan dengan metode rasional. Daerah tersebut adalah Sub DAS Greges dan Sub DAS Jomblong.

4.10.1 Pendefinisian Masalah dan Tujuan Model

Daerah genangan merupakan kondisi alam yang terjadi karena beberapa faktor, salah satunya adalah karena intensitas curah hujan yang tinggi. Selain itu dapat dikarenakan kemampuan tanah dalam menyerap limpasan air hujan yang dapat diidentifikasi melalui koefisien limpasan. Kemampuan tanah dalam menyerap limpasan air hujan juga dipengaruhi oleh jenis tutupan lahan yang ada di permukaan tanah.

Kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo termasuk wilayah pesisir, merupakan wilayah dengan tingkat pertumbuhan dan pembangunan yang pesat sehingga menyebabkan terjadi perubahan tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan yang terjadi pada dasarnya dapat mempengaruhi karakteristik hidrologi suatu daerah. Perubahan karakteristik hidrologi akibat perubahan tutupan lahan antara lain adalah erosi, debit banjir/genangan dan infiltrasi (Edi, 2012).

Selain itu, kualitas dan kuantitas sistem drainase juga mempengaruhi terjadinya genangan. Munadhir dalam Susilowati (2006) menjelaskan bahwa penyebab terjadinya genangan dan banjir adalah intensitas curah hujan lebih besar daripada perhitungan dalam perencanaan drainase dan intensitas hujan sesuai dengan perencanaan akan tetapi limpasan air hujan tidak mampu ditampung oleh sistem drainase yang ada.

Pada kasus analisis debit banjir, besarnya penguapan umumnya diabaikan. Akan tetapi, pada penelitian ini penguapan menjadi salah satu sub variabel yang berpengaruh dalam menentukan *trend* genangan di masa yang akan datang. Hal ini disebabkan karena penguapan merupakan salah satu proses penting dalam siklus hidrologi. Menurut (Slamet, 2011), pada siklus hidrologi terdapat beberapa proses yang saling terkait mencerminkan pergerakan air, meliputi proses presipitasi, evaporasi, transpirasi, intersepsi, infiltrasi, perkolasi, aliran limpasan, aliran air bawah tanah. Selanjutnya proses Evapotranspirasi, intersepsi, infiltrasi, perkolasi, aliran disebut sebagai

komponen ketersediaan air. Konsep keseimbangan air adalah *water balance* atau persamaan air (viessman *et.al*, 1977 dalam Arsyad, 1989), yaitu:

$$AP = P - IN - ET - PE - \Delta SA$$

Aliran permukaan (AP); curah hujan (P); intersepsi (IN); evapotranspirasi (ET); Perkolasi (PE); dan perubahan simpanan air (ΔSA). Oleh karena itu, penguapan tetap dimasukkan menjadi salah satu sub variabel yang mempengaruhi variabel curah hujan.

Permasalahan yang ada akan diselesaikan melalui permodelan dinamis yang bertujuan sebagai berikut.

- a. Prediksi ke depan daerah rawan genangan dengan mengacu riwayat genangan masa lalu dan kini.
- b. Pembuatan skenario untuk mengurangi debit limpasan yang menyebabkan terjadinya genangan

Berikut ini adalah tujuan model dan variabel yang mempengaruhi, disajikan pada tabel 4.31 di bawah ini.

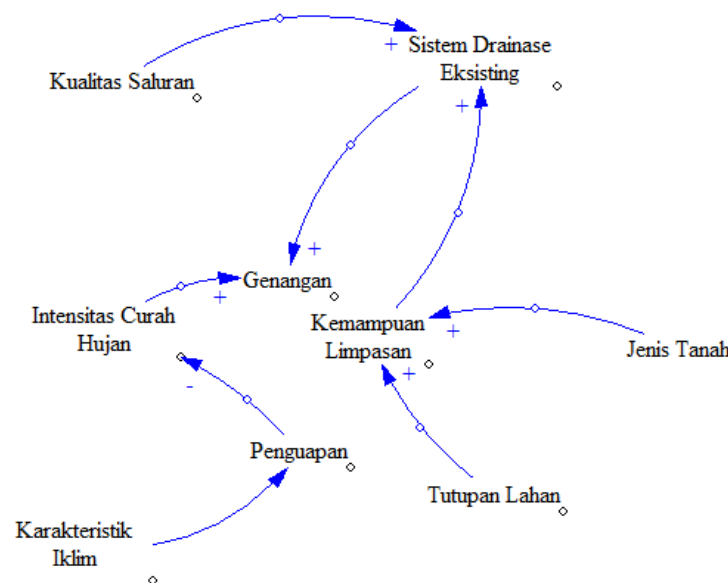
Tabel 4.31 Tujuan Model dan Variabel yang Mempengaruhi

No.	Tujuan	Variabel	Sub-Variabel
1.	Analisis daerah rawan genangan	Curah Hujan	<ul style="list-style-type: none"> • Intensitas limpasan air hujan • Karakteristik iklim : suhu, kelembaban, kecepatan angin • Penguapan
		Jenis Tanah	<ul style="list-style-type: none"> • Kemampuan tanah (Koefisien limpasan)
		Tutupan Lahan	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis tutupan lahan • Luas tutupan lahan • Koefisien limpasan
		Sistem Drainase	<ul style="list-style-type: none"> • Panjang Saluran • Kemampuan sistem drainase menampung limpasan air (debit eksisting)
2.	Prediksi ke depan daerah rawan genangan		

Sumber : Hasil Analisa

4.10.2 Pembuatan *Causal Loop Diagram* (CLD)

Dalam pembuatan *Causal Loop Diagrams* (CLD), langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan suatu kondisi yang akan dikembangkan dalam sebuah model. Dalam penelitian ini, suatu kondisi yang akan dikembangkan adalah mengetahui kondisi daerah rawan genangan di pesisir Surabaya-Sidoarjo. Berikut ini adalah hasil pembuatan *Causal Loop Diagram* (CLD).



Gambar 4.14 *Causal Loop Diagram* (CLD)

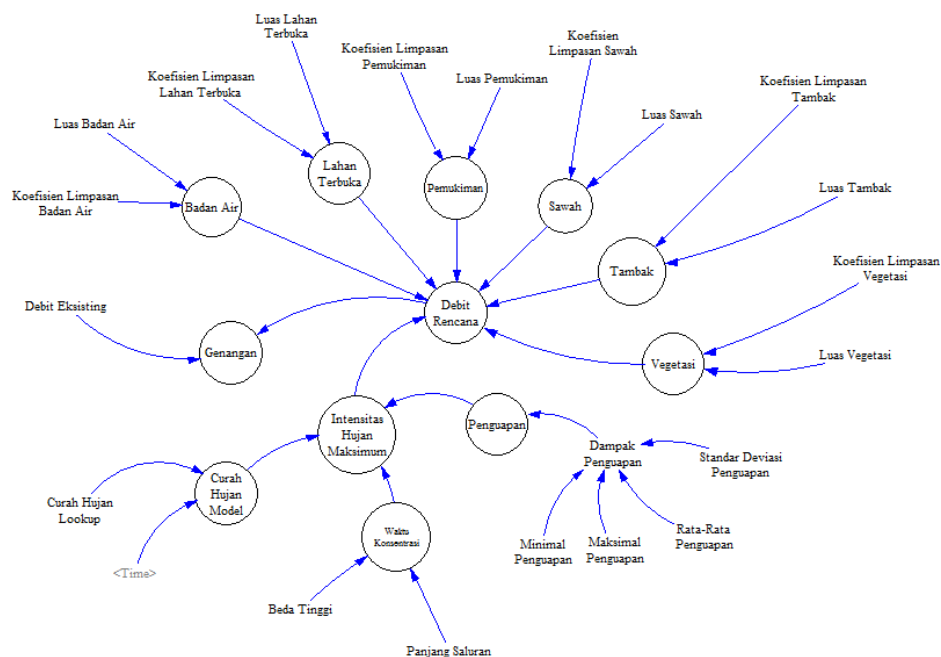
Dari diagram kausatik di atas dapat dijelaskan bahwa genangan disebabkan oleh intensitas curah hujan yang tinggi. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi (Loebis, 1992). Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi pengaliran air hujan adalah penguapan. Penguapan adalah fungsi dari temperatur, kecepatan angin dan kelembaban relatif.

Selain intensitas hujan yang tinggi, kemampuan jenis tanah dalam melakukan infiltrasi juga berpengaruh dalam menyebabkan genangan. Kemampuan jenis tanah ini dapat diidentifikasi melalui koefisien limpasan. Selain itu, kemampuan tanah dalam menyerap limpasan air hujan juga dipengaruhi oleh jenis tutupan lahan yang ada di permukaan tanah.

Kemampuan sistem drainase untuk menampung limpasan air hujan juga berpengaruh terhadap genangan air. Semakin buruk kualitas saluran maka semakin menyebabkan genangan. Hal ini dapat ditunjukkan dengan nilai limpasan air hujan yang melebihi kapasitas sistem drainase dalam menampung limpasan tersebut.

4.10.3 Pembuatan Diagram Simulasi

Tahapan ini dimulai dengan melakukan konversi terhadap CLD yang telah dibuat untuk dijadikan model sistem dinamik. Konversi ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak VENSIM. Tahap selanjutnya model sistem dinamik yang telah dibuat dibandingkan dengan kondisi eksisting.



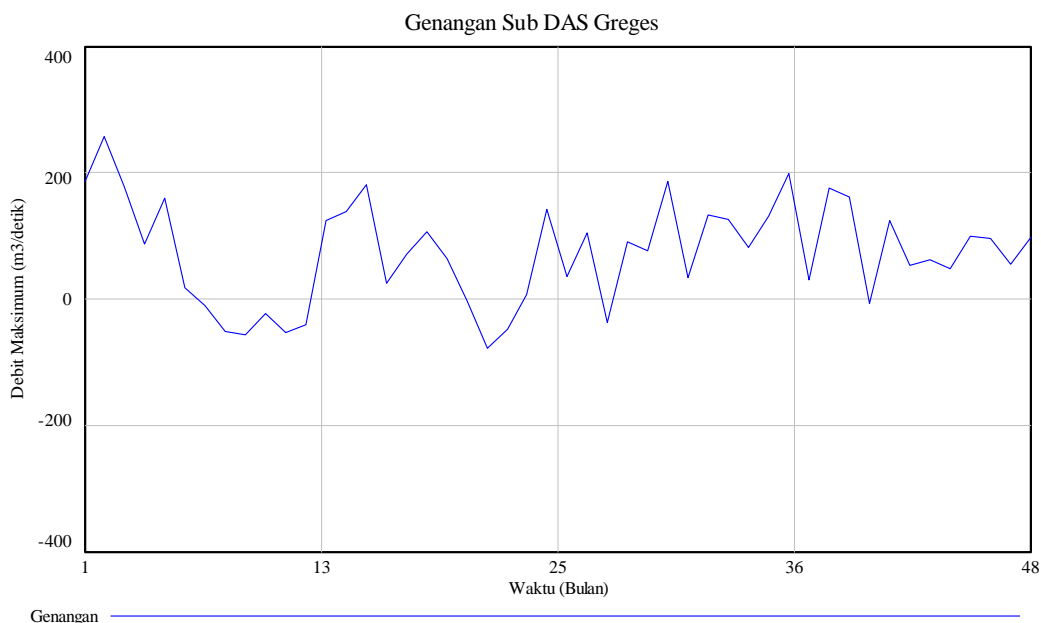
Gambar 4.15 Diagram Simulasi Pengujian

4.10.4 Hasil Simulasi Model Dasar (*Base Model*)

Model dasar (*Base Model*) dari sistem informasi pengujian perlu dijalankan untuk mengetahui tentang perilaku sistem selama periode tertentu untuk melihat kondisi daerah genangan. Periode yang digunakan adalah

hingga 2 tahun ke depan. Dalam hal ini, daerah yang dimodelkan adalah Sub DAS Greges dan Sub DAS Jomblong.

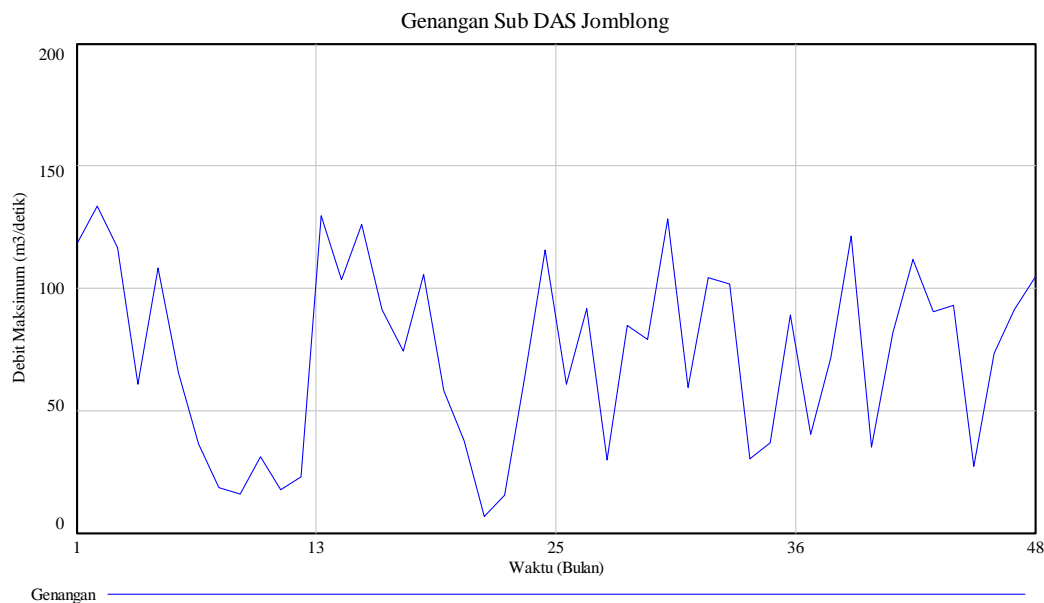
Berikut ini adalah hasil simulasi model dasar di Sub DAS Greges.



Gambar 4.16 Grafik Simulasi Model Dasar Genangan di Sub DAS Greges

Berdasarkan gambar 4.16 dapat dilihat bahwa Sub DAS Greges merupakan daerah rawan genangan yang ditunjukkan dengan nilai debit limpasan yang relatif tinggi di bulan basah. Dimana debit eksisting yang mampu ditampung oleh saluran di daerah ini adalah $73.918 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sedangkan di bulan kering, genangan selalu menunjukkan nilai penurunan. Pada bulan kering, nilai genangan berada di bawah nilai nol hal ini disebabkan karena penambahan variabel yang mempengaruhi curah hujan yaitu nilai penguapan. Gambar 4.16 menunjukkan bahwa hasil dari pemodelan ini telah memenuhi kelogisan, dimana semakin meningkat curah hujan akan semakin tinggi debit genangan. Hal ini ditandai dengan perubahan grafik pada bulan basah dan bulan kering. Sedangkan pada tahun berikutnya, nilai debit semakin tinggi bahkan pada bulan kering juga mengalami kenaikan meskipun tidak menyebabkan genangan. Hal ini dapat disebabkan persebaran nilai penguapan yang dimungkinkan pada masa yang akan datang mengalami penurunan. Selain itu, dapat pula disebabkan karena perubahan

tutupan lahan. Di masa yang akan datang dapat diprediksikan bahwa tutupan lahan berupa pemukiman akan mengalami kenaikan, sehingga secara otomatis akan menambah nilai koefisien limpasan yang berarti mengurangi jumlah air yang terinfiltrasi. Meskipun dengan curah hujan yang sama akan menghasilkan debit yang cenderung meningkat dikarenakan adanya perubahan tutupan lahan (Slamet, 2011).



Gambar 4.17 Grafik Simulasi Model Dasar Genangan di Sub DAS Jomblong

Berdasarkan gambar 4.17, hampir sama dengan Sub DAS Greges, sub DAS Jomblong merupakan daerah rawan genangan yang ditunjukkan dengan nilai debit limpasan yang relatif tinggi di bulan basah. Akan tetapi, Sub DAS Jomblong memiliki nilai debit genangan yang sangat dinamis hal ini ditunjukkan dengan grafik yang naik turun. Sub DAS Jomblong memiliki nilai curah hujan yang tinggi di bulan basah dan bulan kering. Pada bulan kering, nilai genangan tetap berada di atas nilai nol hal ini disebabkan karena nilai penguapan kecil di daerah tersebut. Selain itu, dimensi saluran di daerah tersebut juga berpengaruh terhadap tingginya nilai genangan di daerah tersebut. Pada daerah tersebut memiliki dimensi saluran sepanjang 6500 m dengan kemampuan menampung limpasan air hanya sebesar $18.2 \text{ m}^3/\text{detik}$. Selain itu, perubahan tutupan lahan pada daerah tersebut juga diasumsikan sebagai faktor yang berpengaruh terhadap kenaikan nilai debit genangan

Sehingga dapat dikatakan bahwa Sub DAS Jomblong tersebut memang sangat rawan terjadi genangan di masa yang akan datang.

4.10.5 Validasi Model

Model yang telah disimulasikan sesuai dengan tahapan simulasi, hasilnya dibandingkan dengan data eksisting. Validasi adalah penentuan apakah model konseptual simulasi adalah representasi akurat dari sistem nyata yang dimodelkan (Forrester, 1968). Ada dua cara pengujian validasi yaitu perbandingan rata-rata (E1) dan perbandingan variasi amplitudo (E2). Model dianggap valid apabila nilai $E1 \leq 5 \%$ dan $E2 \leq 30 \%$. Berikut ini adalah hasil dari validasi model.

Tabel 4.32 Perbandingan Rata-Rata

Perbandingan Rata-Rata	Valid kurang dari 5 %
Intensitas Curah Hujan Maksimum	0.10%
Penguapan	4.6 %

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.33 Variasi Amplitudo

Variasi Amplitudo	Valid kurang dari 30 %
Intensitas Curah Hujan Maksimum	0.1%
Penguapan	17 %

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, nilai perbandingan rata-rata memiliki nilai kurang dari 5 % dan nilai variasi amplitudo kurang dari 30 % sehingga dapat dikatakan hasil perhitungan tersebut valid. Oleh karena itu, pemodelan yang dilakukan telah benar.

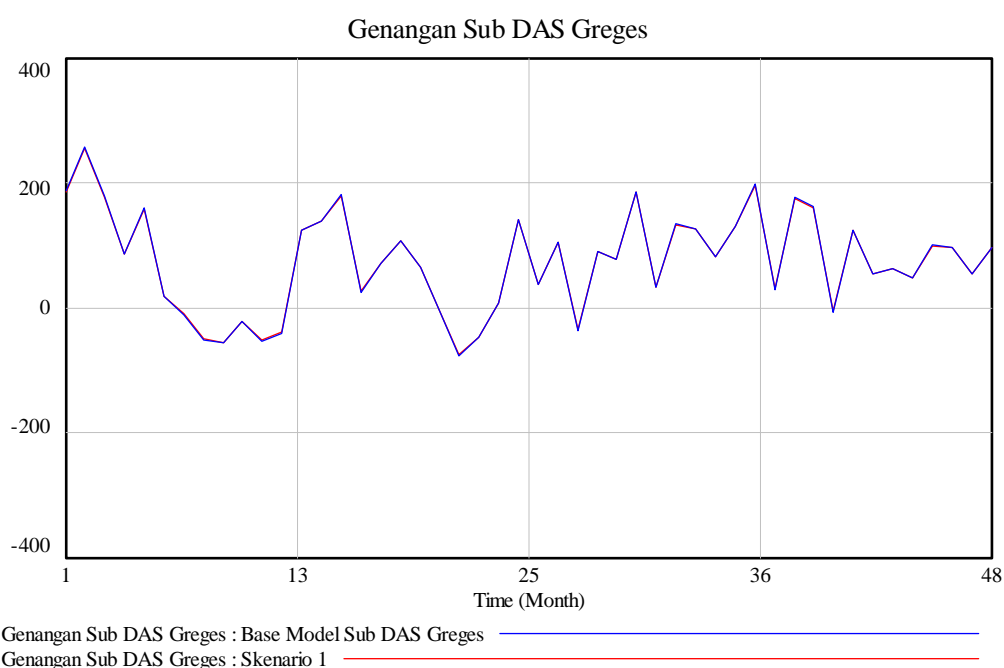
4.10.6 Pengembangan Skenario

Dalam mengerjakan skenario, dilakukan 3 skenario. Untuk skenario pertama, skenario struktur ini berguna untuk mengurangi nilai genangan dengan cara melakukan perubahan fungsi lahan. Lahan terbuka yang

merupakan tutupan lahan dengan skor tinggi penyebab genangan, dialihkan menjadi kawasan vegetasi. Sehingga di masa mendatang diharapkan dapat mengurangi nilai genangan. Pada skenario kedua dilakukan perencanaan kapasitas atau dimensi baru pada saluran untuk menambah kemampuan saluran dalam menampung limpasan air hujan. Mengingat salah satu Sub DAS memiliki kemampuan yang rendah dalam menampung limpasan air hujan. Sedangkan untuk skenario ketiga dilakukan penggabungan dari skenario pertama dan kedua, hal ini bertujuan untuk mengetahui skenario yang paling optimal untuk mengurangi nilai genangan.

4.10.6.1 Pengembangan Skenario pada Sub DAS Greges

Beberapa skenario dicoba untuk mengurangi nilai genangan pada Sub DAS Greges, berikut ini adalah hasil dari pengembangan skenario pada Sub DAS greges.

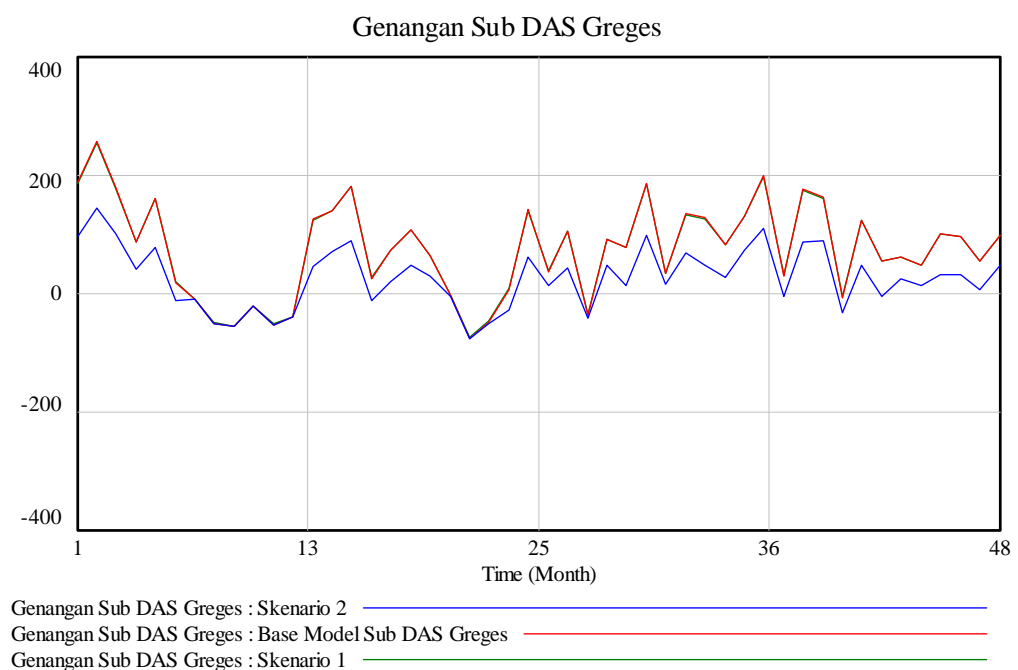


Gambar 4.18 Grafik Simulasi Skenario 1 Genangan di Sub DAS Greges

Berdasarkan gambar 4.18, perubahan nilai genangan yang disebabkan karena pengembangan skenario pertama tidak menunjukkan hasil yang begitu signifikan. Lahan terbuka pada Sub DAS Greges dialih fungsikan menjadi area vegetasi. Hasil penurunan yang tidak signifikan ini disebabkan karena luasan lahan terbuka yang

dialihfungsikan menjadi area vegetasi tidak terlalu besar. Sehingga, kemampuan penyerapan limpasan air juga tetap rendah. Oleh karena itu sebaiknya, untuk menambah daerah retensi resapan perlu dilakukan alih fungsi lahan yang memiliki nilai pengaruh tinggi terhadap genangan dengan luas yang memadai. Mengingat proses alih fungsi lahan merupakan hal yang sulit untuk dilakukan, maka perlu dilakukan alternatif lain untuk menambah daerah resapan. Pembuatan biopori juga dapat dilakukan untuk membantu penyerapan dan penampungan limpasan air yang maksimal. Lubang resapan biopori adalah teknologi tepat guna dan ramah lingkungan untuk mengatasi banjir dengan cara meningkatkan daya resapan air, mengubah sampah organik menjadi kompos dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

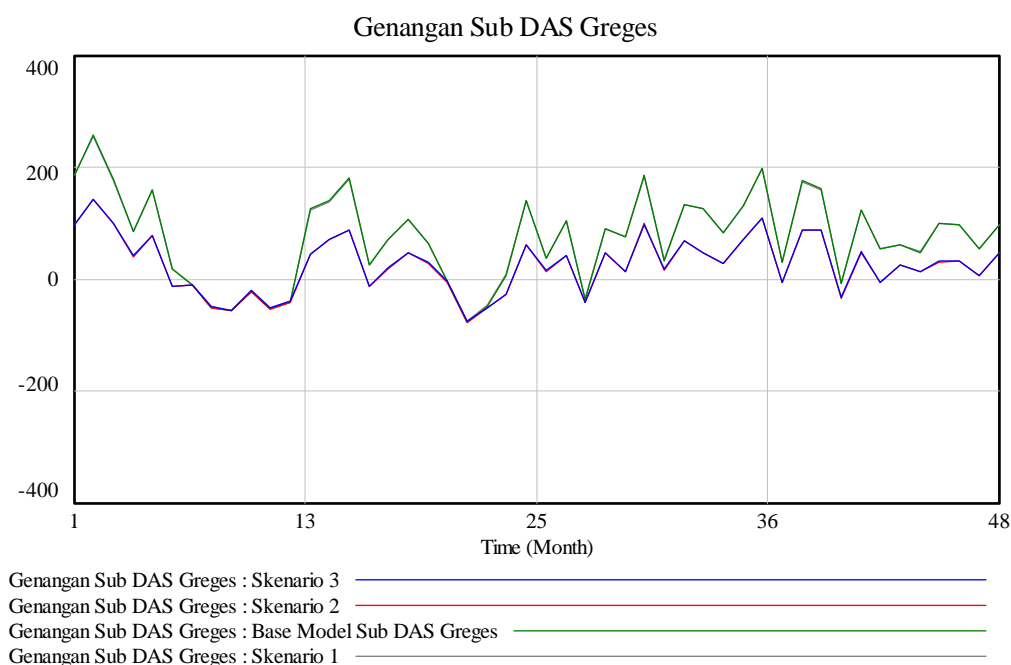
Selain itu juga dapat dilakukan pembuatan sumur resapan. Sumur resapan adalah saluran untuk penampungan air hujan dan meresapkannya ke dalam tanah. Sumur resapan berfungsi untuk membantu penyerapan air hujan ke dalam tanah dan kembali ke siklus air yang semestinya sehingga tidak menggenang di permukaan dan menyebabkan genangan.



Gambar 4.19 Grafik Simulasi Skenario 2 Genangan di Sub DAS Greges

Pada skenario pertama yaitu alih fungsi lahan tidak menunjukkan hasil yang signifikan dalam mengurangi nilai genangan, maka pada skenario kedua justru menunjukkan hasil yang sebaliknya. Pada gambar 4.19, nilai genangan mengalami penurunan yang signifikan yang ditunjukkan dengan grafik berwarna biru. Hal ini menandakan bahwa daerah Sub DAS Greges memang membutuhkan normalisasi pada Saluran Greges. Dengan adanya dimensi baru pada saluran Greges maka debit banjir pada Sub DAS tersebut dapat dikendalikan.

Pendalaman dan pelebaran saluran perlu dilakukan. Kebanyakan kejadian banjir dan genangan terjadi karena dangkalnya saluran. Apabila sebelumnya saluran mampu mengalirkan sejumlah air yang banyak dalam suatu masa, kini pengaliran telah berkurang. Ini disebabkan proses pengendapan dan pembuangan bahan-bahan buangan. Hal ini dapat diatasi dengan pendalaman saluran yang dilakukan dengan normalisasi pada saluran (Priyono, 2012).



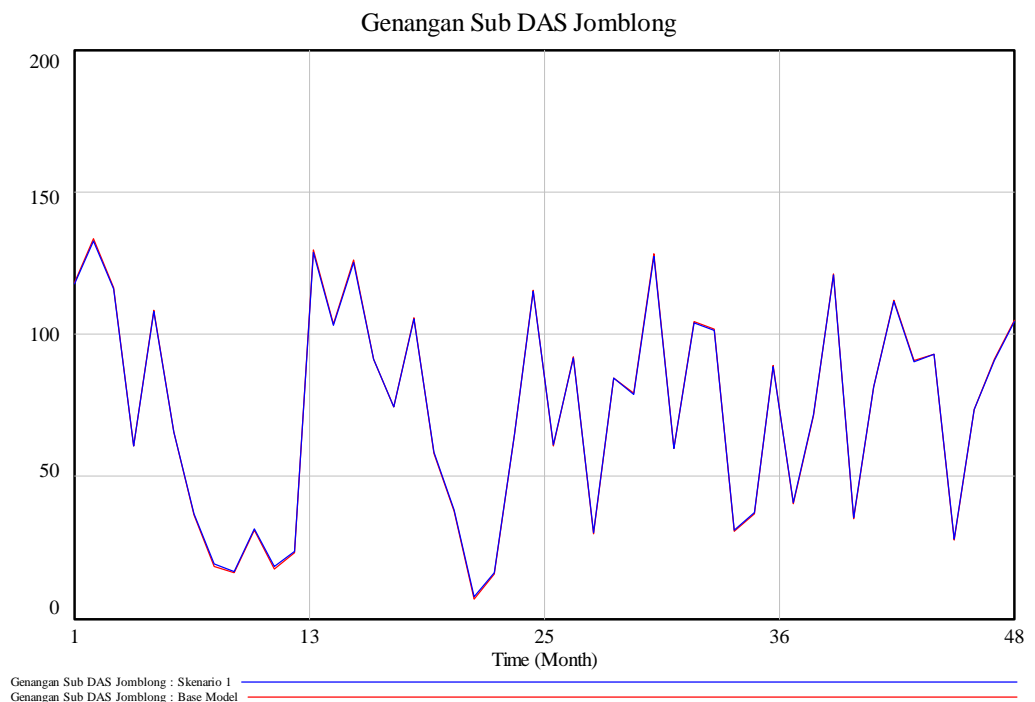
Gambar 4.20 Grafik Simulasi Skenario 3 Genangan di Sub DAS Greges

Berdasarkan gambar 4.20, nilai genangan di Sub DAS Greges semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa memang perlu adanya

suatu alih fungsi lahan dan normalisasi saluran pada daerah yang memiliki limpasan air melebihi kapasitas *catchment area*-nya.

Skenario ketiga yang dilakukan pada Sub DAS Greges menunjukkan hasil yang lebih baik, dimana skenario ini merupakan penggabungan dari skenario pertama dan kedua.

4.10.6.2 Pengembangan Skenario pada Sub DAS Jomblong

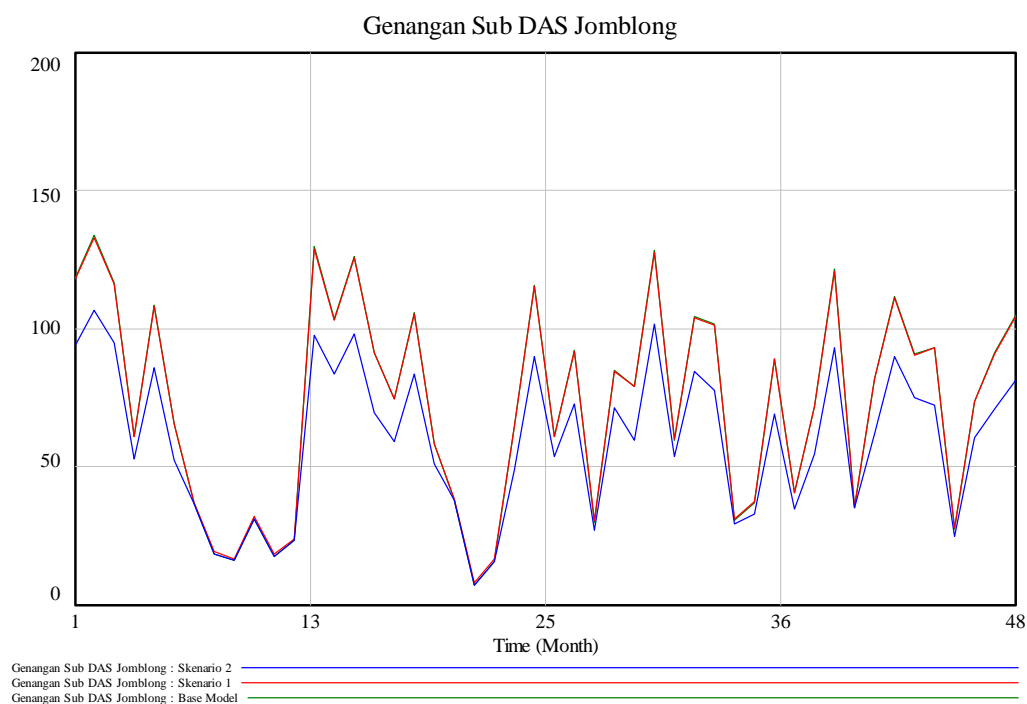


Gambar 4.21 Grafik Simulasi Skenario 1 Genangan di Sub DAS
Jomblong

Berdasarkan Gambar 4.21, sama halnya dengan Sub DAS Greges, skenario pertama yang diterapkan pada sub DAS Jomblong menunjukkan penurunan yang tidak signifikan. Hasil penurunan yang tidak signifikan ini disebabkan karena luasan lahan terbuka yang dialihfungsikan menjadi area vegetasi tidak terlalu besar.

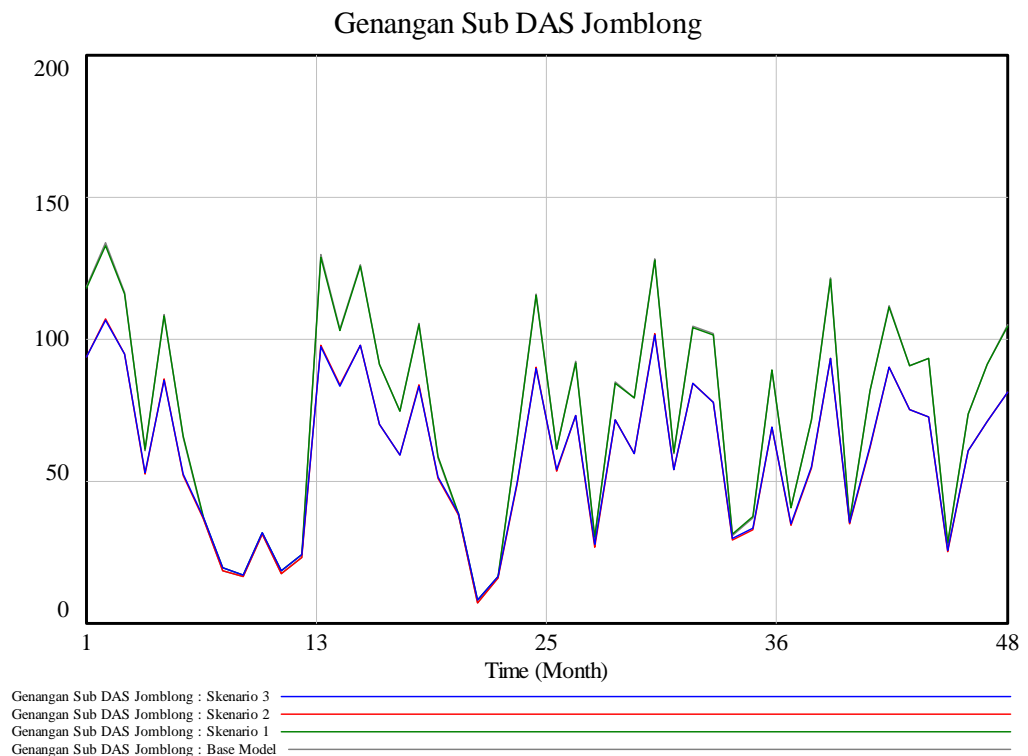
Berdasarkan penelitian yang dilakukan Hardaningrum, dkk (2005), Sub DAS Jomblong memiliki tutupan lahan berupa pemukiman renggang, sawah dan tambak. Sehingga dapat dikatakan bahwa alih fungsi lahan cukup sulit diterapkan pada daerah tersebut. Masalah nyata

di daerah tersebut adalah sedikitnya jumlah permukaan tanah yang memiliki penyerapan air yang baik selain itu daerah tersebut banyak memiliki tutupan lahan berupa pemukiman, maka alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan pembuatan biopori, sumur resapan, serta penanaman pohon atau tanaman di sekitar pemukiman. Tanaman dapat menyerap air melalui akar.



Gambar 4.22 Grafik Simulasi Skenario 2 Genangan di Sub DAS Jomblong

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.22, nilai genangan di Sub DAS Jomblong mengalami penurunan yang signifikan. Pada daerah tersebut memiliki dimensi saluran sepanjang 6500 m dengan kemampuan menampung limpasan air hanya sebesar 18.2 m³/detik. Perencanaan kapasitas atau dimensi baru pada Sub DAS Jomblong memang dirasa hal yang sangat penting dilakukan untuk kedepannya. Dengan adanya dimensi baru pada saluran Jomblong maka debit banjir pada Sub DAS tersebut dapat dikendalikan.



Gambar 4.23 Grafik Simulasi Skenario 3 Genangan di Sub DAS
Jomblong

Dari hasil penggabungan kedua skenario yang ditunjukkan pada gambar 4.23, nilai genangan di Sub DAS Jomblong semakin menurun. Sama halnya dengan Sub DAS Greges, skenario ketiga memang dianggap menunjukkan hasil yang lebih optimal.

Pada Sub DAS Jomblong, perencanaan kapasitas dan dimensi baru saluran memang perlu dilakukan mengingat rendahnya kemampuan saluran untuk menampung limpasan air. Tekstur tanah di sub DAS tersebut berupa lempung dan lempung berlumpur, dimana kedua jenis ini sulit untuk menyerap air. Oleh karena itu, normalisasi saluran dan penambahan daerah retensi merupakan hal yang *urgent* untuk dilakukan ke depannya.

“Halaman ini dengan sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis perubahan pola aliran dan daerah rawan genangan di Pesisir Surabaya-Sidoarjo tahun 2009 dan 2013, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Daerah pesisir Surabaya bagian utara sampai perbatasan Sidoarjo di dominasi oleh pola aliran Paralel, sedangkan Daerah pesisir Sidoarjo lebih di dominasi oleh pola aliran sungai Dendritik. Pola aliran sungai pada tahun 2009 dan 2013 relatif tetap.
2. Berdasarkan hasil pengolahan citra tahun 2009 dan tahun 2013, didapatkan jenis tutupan lahan terluas didominasi oleh kelas tambak. Dari tahun 2009 hingga tahun 2013, hampir semua jenis tutupan lahan mengalami penurunan luasan.
3. Selain perubahan tutupan lahan yang mengindikasikan adanya perkembangan pembangunan kawasan pesisir, luasan pesisir tahun 2009 dan 2013 mengalami kenaikan sebesar 22.36 Hektar. Penambahan ini dapat terjadi akibat penambahan sedimentasi di daerah pantai.
4. Berdasarkan tingkat kerawannya kawasan pesisir pantai Surabaya Sidoarjo di dominasi kelas genangan sangat rawan. Hal ini terjadi karena persebaran hujan dengan intensitas yang tinggi di daerah tersebut yaitu 1452 – 1740 mm pada tahun 2009 dan >1740 mm pada tahun 2013. Sehingga mengindikasikan bahwa selain tutupan lahan, curah hujan juga cukup mempengaruhi tingkat kerawanan daerah genangan.
5. Penggunaan parameter ketinggian dan kelerengan untuk daerah yang memiliki ketinggian sangat datar tidak terlalu signifikan untuk menentukan daerah rawan genangan.
6. Selain parameter tutupan lahan, curah hujan dan jenis tanah, parameter lain yang dapat digunakan untuk menentukan daerah rawan genangan

adalah memperhatikan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan menghitung debit maksimumnya.

7. Pada tahun 2009 diperkirakan sub DAS Greges, Jomblong dan Ketapang rawan terkena genangan air hujan. Sedangkan untuk tahun 2013, ada dua sub DAS yang memiliki nilai debit maksimum melebihi debit eksistingnya, yaitu Sub DAS Greges dan Jomblong.
8. Sub DAS Jomblong memiliki peningkatan jumlah debit limpasan sebesar $3.79 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka diperkirakan sekitar 230.80 Hektar lahan akan tergenang di daerah rawan tersebut. Hal ini berbanding lurus dengan peningkatan daerah sangat rawan genangan berdasarkan pengolahan citra satelit Landsat-7 ETM+ tahun 2009 dan Landsat 8 tahun 2013, yaitu sebesar 245.40 Ha.
9. Sub DAS Greges, memiliki pengurangan nilai debit limpasan air sebesar $8.36 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sehingga dapat dikatakan bahwa sekitar 1506.7 Hektar dari daerah rawan genangan berkurang dalam rentang waktu 2009-2013.
10. Berdasarkan pemodelan sistem dinamik, Sub DAS Greges dan Jomblong memiliki nilai genangan yang tinggi di bulan basah hingga 2 tahun ke depan. Hal ini disebabkan karena tingginya curah hujan, rendahnya nilai penguapan, perubahan tutupan lahan dan rendahnya kemampuan saluran/sistem drainase dalam menampung limpasan air hujan.
11. Berdasarkan skenario pertama yang dilakukan pada model dasar, Sub DAS Greges dan Jomblong sama-sama menunjukkan penurunan nilai genangan yang tidak signifikan. Oleh karena itu perlu dilakukan alternatif lain untuk menambah daerah retensi yaitu dengan pembuatan biopori, pembangunan sumur resapan dan penanaman pohon atau tanaman di daerah pemukiman.
12. Berdasarkan skenario kedua yang dilakukan pada model dasar, masing-masing sub DAS menunjukkan hasil yang signifikan. Hal ini menandakan bahwa kedua Sub DAS memang perlu adanya perencanaan kapasitas dan dimensi baru saluran untuk menambah kemampuan dalam menampung limpasan air.

13. Skenario ketiga yang merupakan penggabungan dari kedua skenario adalah skenario yang paling optimal untuk menurunkan nilai genangan pada masing-masing Sub DAS.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini :

1. Untuk mengetahui pola aliran sungai, perlu dilakukan lagi penelitian lebih mendalam dengan memperhatikan parameter-parameter lain seperti terjadinya pendangkalan, penyempitan atau pelebaran sungai dan lain-lain.
2. Untuk menentukan daerah rawan genangan, perlu adanya penambahan parameter-parameter lain seperti struktur geologi, kejadian pasang-surut, dan lain-lain.
3. Perlu memperhatikan kondisi topografi daerah penelitian jika akan menggunakan parameter ketinggian dan kelerengan dalam menentukan daerah rawan genangan.
4. Dalam melakukan pemodelan sistem dinamik untuk menentukan daerah rawan genangan, selain variabel fisik, variabel yang bersifat non-fisik seperti jumlah penduduk, sebaiknya perlu ditambahkan dalam sistem.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, HZ. (2002), *Penentuan Posisi Dengan GPS Dan Aplikasinya*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Anonim, 2013. *Lumpur Lapindo*. <URL: http://www.indonesia2014.com/read/2013/05/17/mungkin-hanya-tuhan-yang-bisa-menjadikan-rbpresiden/page/0/3#.Ut_evM7-LIU/>, diakses pada tanggal 18 Januari 2014 pukul 12.05 BBWI.
- Anthony, A.J. (2011), *Evaluasi Ketersediaan Lahan Pertanian Padi dengan Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) (Studi Kasus: Kabupaten Pasuruan)*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Wilayah, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ardi, Linda Oktareni. (2010), *Pemetaan Pola Hidrologi Pantai Surabaya Sidoarjo Pasca Pembangunan Jembatan Suramadu Dan Peristiwa Lapindo Menggunakan Citra SPOT-4*, Program studi Teknik Geomatika ITS, Surabaya.
- Arsyad, S. (1989), *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB.
- Asdak, Chay, (1995), *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Axella, Oxa dan Erma Suryani. (2012), “Aplikasi Model Sistem Dinamik untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus : Jawa Timur)”. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 1. September 2012. ISSN : 2301-9271.
- Badan Lingkungan Hidup (2012), *Profil Keanekaragaman Hayati Kota Surabaya tahun 2012*, Pemerintah Kota Surabaya, Jawa Timur.
- Badan Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur (2014), *Hidrologi*. <URL: <http://pusdaling.jatimprov.go.id/2-info-home/33-hidrologi-jatim.html/>>, diakses pada tanggal 20 Februari 2014 14.10 BBWI.

- Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota Surabaya (2013), *Data Riwayat Banjir di Surabaya*, Surabaya.
- BBPPLSP. *Peta Jenis Tanah Daerah Pantai Surabaya-Sidoarjo*. Bogor.
- BAKOSURTANAL (1993), *Peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) skala 1 : 50.000 lembar 1608-01 (Gresik), 1608-02 (Kwanyar), 1608-03 (Pasuruan)*.
- Balai Pengelolaan Daerah Sungai (BPDAS). *Peta dan Data Daerah Aliran Sungai Brantas*.
- Bioresita, Filsa. (2013), *Analisa Potensi Genangan Berdasarkan Data Curah Hujan Global Berbasis Penginderaan Jauh*. Program studi Teknik Geomatika ITS, Surabaya.
- Chow, V.T. (1964), *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Danapriatna, N. dan R. Setiawan, (2005), *Pengantar Statistika*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Danoedoro, P. (1996), *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Sidoarjo (2014), *Data Riwayat Genangan dan Curah Hujan di Sidoarjo*, Sidoarjo.
- Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Jawa Timur (2014), *Data Curah Hujan Tahun 2010-2013*, Surabaya.
- Dinas Pertanian dan Perkebunan Kabupaten Sidoarjo (1998), *Pemetaan Kawasan Pertanian Beririgasi Teknis*. Laporan Penelitian.
- Edi, Susilo. Bambang Sudarmanto. (2012), “Kajian Hidrologi terhadap Perubahan Penggunaan Lahan Pertanian dan Lahan Hijau menjadi Pemukiman di Kota Semarang”. *Riptek*, Vol. 6, No. I, Tahun 2012, Hal : 1-7.
- Forrester, J. W. (1968), *Principle of System*, Massachusetts: Wright-Allen Press, Inc.
- Fuchs, U Hans. (2006), *System Dynamics Modeling in Science and Engineering*. Department of Physics and Mathematics, Zurich University of Applied Sciences at Winterthur.

- Hardaningrum, Farida, M. Taufik dan Bangun Muljo S. (2005), “Analisis Genangan Air Hujan di Kawasan Delta dengan Menggunakan Penginderaan Jauh dan SIG”, Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV.
- Hartono. (2004), *Statistik untuk Penelitian*. Pustaka Pelajar Offset, Yogyakarta.
- Idris, Mirzanur. (2007), *Analisis Limpasan dan Genangan Air Hujan dengan Digital Elevation Model Menggunakan Software Arcgis 9.2*. Program studi Teknik Geomatika ITS, Surabaya.
- Kementrian Pekerjaan Umum (2013), *Daerah Genangan*. <URL: <http://pustaka.pu.go.id/new/istilah-bidang-detail.asp?id=594/>, diakses pada tanggal 18 Januari 2014 pukul 13.00 BBWI.
- Kodoatie, J.R. dan R. Syarief. (2005), *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Andi Offset, Yogyakarta.
- LAPAN. (2013), *Karakteristik LDCM/Landsat-8*. <URL: <http://www.lapanrs.com/p/detail/675-LAPAN-siap-menerima-data-Landsat-Data-Continuity-Mission-LDCMLandsat-8/>, diakses pada tanggal 03 Februari 2014 pukul 13.15 BBWI.
- Lillesand T.M., and Kiefer R.W. (1994), *Remote Sensing and Image Interpretation*. Second Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Loebis, J. (1992), *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*. Departemen Pekerjaan Umum, Chandy Buana Kharisma, Jakarta.
- Purwadhi, Sri Hardiyanti. (2001), *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta: PT. Gramedia Widiasarana.
- Pemerintah Provinsi Jawa Timur (2013), *Peta Administrasi Provinsi Jawa Timur*. <URL:<http://www.travellers.web.id/discover-indonesia/java-region/east-java/>, diakses pada tanggal 21 Februari 2014.
- Priyono, Sapto Pipit. (2012), *Studi Penanggulangan Banjir dan Penanganan DAS Saluran Greges Surabaya*. ITS Surabaya.
- Rahardian, Ardy. (2008), *Evaluasi Perubahan Garis Pantai Dan Tutupan Lahan Kawasan Pesisir Surabaya Dan Sidoarjo*. Program studi Teknik Geomatika ITS, Surabaya

- Rahmah. (2009), *Penentuan daerah retensi banjir menggunakan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis di Mojokerto*. Program studi Teknik Geomatika ITS, Surabaya
- RPJMD Kota Surabaya Tahun 2010-2015 (2010), *Gambaran Umum Kondisi Wilayah*.
- Salahuddin, Muhd. Dan Mulyana W. (2011), *Dinamika Pesisir Jawa Timur*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.
- Sean. (2013), LANDSAT. Geodatamap : *Satellite Imagery Provider and Detail Mapping*.
- Sitanggang, Gokmaria. *Kajian Pemanfaatan Satelit Masa Depan : Sistem Penginderaan Jauh Satelit LDCM (Landsat 8)*. Peneliti Bidang Bangfatja, LAPAN.
- Slamet, Bejo. (2011), *Model Hidrologi Daerah Aliran Sungai untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Domestik*. Indonesia.
- Sosrodarsono, S. dan K. Takeda. (1993), *Hidrologi untuk Pengairan*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sterman, John. (2000), *Business Dynamics: System Thinking and Modeling For a ComplexWorld*. Singapore: The McGraw Hill Companies, hal 3.
- Sukojo, B. M. (2012), *Penginderaan Jauh (Dasar Teori & Terapan)*. Surabaya : ITS-Press.
- Supriana, Wahyu. (2002), *Teknik Perbaikan data digital (koreksi dan penajaman) citra satelit*. Jakarta.
- Suripin. (2004), *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Suryani, Erna. Fahmudin Agus. (2005), “Perubahan Penggunaan Lahan dan Dampaknya terhadap Karakteristik Hidrologi : Suatu Studi di DAS Cijalupang, Bandung, Jawa Barat”, *Prosiding Multifungsi Pertanian*. ISBN: 979-9474-42-6.

- Susilowati. Tima Santita N.R. (2006), “Analisis Perubahan Tata Guna Lahan dan Koefisien Limpasan terhadap Debit Drainase Perkotaan”. *Media Teknik Sipil*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta, Januari 2006.
- Sutanto. (1998), *Penginderaan jauh Jilid I*. Gajah Mada University : Fakultas Geografi.
- Taufik, Fatkhurohman. (2013), *Lumpur Lapindo*. <URL: <http://www.suarasurabaya.net/fokus/29/2013/119771-Data-dan-Fakta-Tragedi-Lumpur-Lapindo-di-Sidoarjo/>, diakses pada tanggal 18 Januari 2014 pukul 12.10 BBWI.
- Undang-undang No. 7 Tahun 2004. *Tentang Sumber Daya Air*. Indonesia.
- USDA. (1975), *Kelompok Besar Taksonomi Tanah*.
- USGS. (2013), *Frequently Asked Questions about the Landsat Missions*. <URL: http://landsat.usgs.gov/ldcm_vs_previous.php, diakses pada tanggal 16 Juli 2014 pukul 15.20 BBWI.
- USGS. (2014a). *Levels of Correction*. <URL: http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php, diakses pada tanggal 16 Juli 2014 pukul 13.08 BBWI.
- USGS. (2014b), *Landsat 8 Data Products*. <URL: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>, diakses pada tanggal 16 Juli 2014 pukul 13.10 BBWI.
- Wiley, John dan Son. (1985), *Soil and Water Conservation Engineering*. New York.
- Wolf, Paul R. (1993), *Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Zare, Y Mehrjerdi. (2012), “A System Dynamics Approach to Healthcare Cost Control”, *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*. September 2012, Volume 23, Number 3 pp. 175-185.

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1

Data Curah Hujan Harian Tahun 2000-2013

No Stasiun	Nama Stasiun	Kec	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)													
			'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13
129	Gubeng	Gubeng	93	120	170	68	86	89	106	104	98	75	106	81	-	-
131	Gunung Sari	Karang Pilang	84	90	113	98	103	114	110	96	81	78	114	102	-	-
130A	Kandangan	Benowo	110	124	205	117	79	90	130	97	120	78	127	79	-	-
136	Kebon Agung	Wonocolo	110	117	105	75	92	105	98	100	85	76	109	97	-	-
134	Keputih	Sukolilo	88	103	123	102	58	110	140	127	90	120	90	78	-	-
126	Larangan	Kenjeran	101	80	187	65	61	64	72	64	84	70	113	72	-	-
12A	Perak	Pabean cantikan	0	0	143	99	172	81	95	89	53	89	109	110	-	120
130	Simo	Tandes	90	172	135	174	152	138	132	107	87	107	89	0	-	-
-	Wonokromo	Wonokromo	115	68	113	76	92	95	100	107	81	104	110	98	-	-
136B	Wonorejo	Rungkut	115	200	115	76	85	90	153	71	68	98	98	94	-	-
142	Bakalan	Balang Bendo	65	83	76	120	70	69	83	75	53	82	55	60	49	95
182	B.Kemantren	Buduran	95	85	65	70	65	76	100	55	70	90	115	150	106	125

No Stasiun	Nama Stasiun	Kec	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)													
			'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13
139	Bono	Sedati	85	95	55	95	75	60	70	60	75	75	170	140	100	155
9	Botokan	Sukodono	63	90	51	80	100	70	87	73	75	85	110	115	90	98
170	Budug Bulus	Porong	90	85	65	89	109	113	49	88	20	85	117	87	69	113
144	Cepiples	Tarik	80	97	82	100	97	113	122	46	0	0	83	95	70	90
168	Durung Bedug	Tulangan	98	91	112	171	132	84	130	130	105	170	143	141	82	122
22	Gedang Rowo	Prambon	90	73	96	81	122	113	101	70	55	105	113	120	55	116
149	Karang Nongko	Sukodono	110	115	115	107	81	85	105	98	100	130	102	110	96	118
21	Kedung Cangkring	Jabon	85	75	49	99	140	110	90	80	143	120	80	96	56	67
143	Kandang Ploso	Tarik	71	96	84	115	99	112	101	77	89	100	78	88	97	107
145	Kemlaten	Tarik	35	50	55	105	146	83	79	77	96	154	100	86	115	142
148	Ketawang	Sukodono	70	82	86	65	41	76	75	87	80	124	141	127	77	127
137	Ketegan	Taman	60	85	60	90	90	68	98	80	70	80	141	125	121	110
158	Ketintang	Wonoayu	90	85	110	140	105	75	85	85	115	90	125	105	85	90.7
155	Klagen	Sukodono	93	125	128	117	96	106	107	84	75	90	125	103	99	137
166	Kludan	Tanggulangin	80	85	78	125	96	65	75	90	70	110	93	92	75	121
20	Krembung	Krembung	115	114	122	126	140	113	63	96	129	110	125	84	61	123

LAMPIRAN 2

Daftar Istilah

Akuifer

Lapisan bawah tanah yang mengandung air dan dapat mengalirkan air.

Catchment Area

Suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis yang dapat berupa punggung-punggung bukit atau gunung dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Evapotranspirasi

Penguapan yang terjadi di permukaan lahan, yang meliputi permukaan tanah dan tanaman yang tumbuh di permukaan lahan tersebut.

Ground Truth

Proses pengumpulan data lapangan yang bertujuan untuk validasi data hasil pengolahan dengan metode penginderaan jauh dan foto udara.

Hidrologi

Ilmu yang mempelajari pergerakan, distribusi dan kualitas air di seluruh Bumi, termasuk siklus hidrologi dan sumber daya air.

Infiltrasi

Aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah.

Instrusi

Proses masuknya air ke dalam sistem akuifer (saluran pembuangan).

Overlay

Kemampuan untuk menempatkan grafis satu peta diatas grafis peta yang lain dan menampilkan hasilnya di layar komputer atau pada plot.

Pre-processing

Teknik meningkatkan kualitas data citra satelit sebelum pengolahan komputasi.

Retensi

Bagian permukaan bumi yang berfungsi untuk menyimpan air limpasan dan menyaring sedimen.

Root Mean Square

Pengukuran statistik besarnya suatu fungsi yang memiliki magnitudo yang berubah-ubah.

Sedimentasi

Proses terbawanya material hasil pelapukan dan erosi oleh air, angina tau gletser untuk diendapkan di suatu wilayah.

Spatial Analyst

Suatu teknik atau proses yang melibatkan sejumlah hitungan dan evaluasi logika (matematis) yang dilakukan untuk mencari potensi hubungan atau pola-pola yang (mungkin) terdapat di antara unsur-unsur geografis (yang terkandung dalam data dijital dengan batas-batas wilayah studi tertentu)

Visible Band

Sebagian dari kisaran panjang gelombang getaran elektromagnetik yang mampu menstimulasi organ-organ indera khusus dan jelas sebagai cahaya.

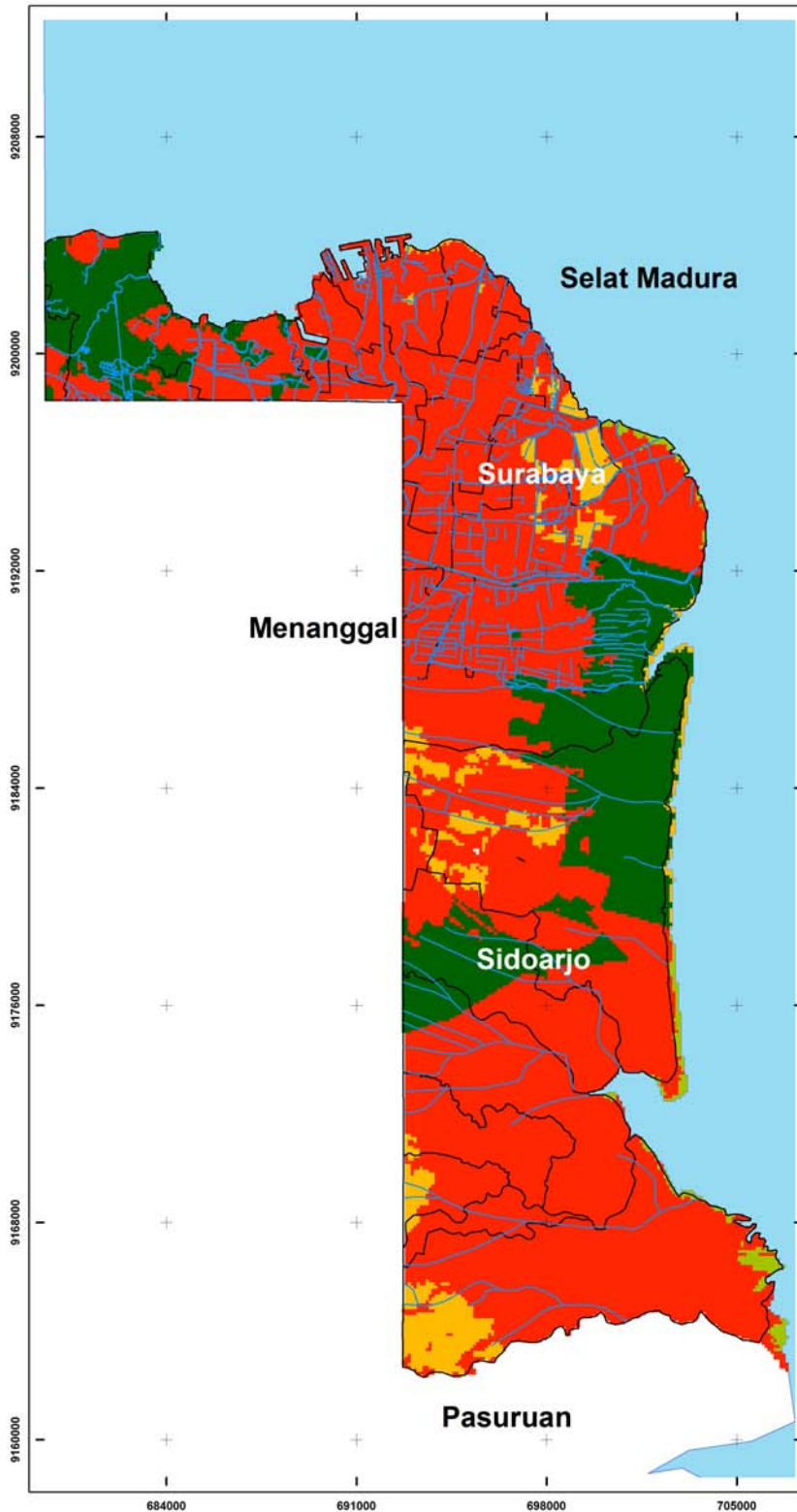
No Stasiun	Nama Stasiun	Kec	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)													
			'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13
140	Krian	Krian	134	103	101	134	81	48	115	47	64	101	157	93	96	127
91	Lengkong	Tarik	42	92	95	365	73	81	95	0	0	0	-	-	115	90
7	Ponokawan	Krian	87	97	92	106	124	70	65	84	74	98	154	91	94.7	125
171	Parung	Porong	133	63	52	98	132	95	95	70	77	117	75	84	60	71
146	Prambon	Prambon	85	96	130	105	126	113	105	80	56	100	118	116	64	125
166A	Putat	Tanggulangun	95	98	90	98	100	80	75	70	75	70	80	83	65	115
26	Sedati	Sedati	85	90	50	80	100	70	70	72	53	80	120	152	98	142
162	Sidoarjo	Sidoarjo	95	110	90	113	89	89	101	80	110	100	168	113	84	95
147	Sruni	Gedangan	90	90	85	100	102	95	91	78	85	100	116	161	90	102
153	Sumput	Sidoarjo	95	125	150	110	96	80	110	85	95	88	160	141	115	135
146A	Watu Tulis	Prambon	90	81	130	95	98	95	62	80	85	83	125	115	58	95

Sumber: DPU Pengairan Provinsi Jawa Timur dan Kabupaten Sidoarjo (2014)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3
Peta

PETA DAERAH GENANGAN BERDASARKAN TINGKAT KERAWANAN KAWASAN PESISIR SURABAYA-SIDOARJO TAHUN 2009



SKALA

0 1,500,000 6,000 9,000 m

1 : 150.000

PETA LOKASI



Daerah Penelitian

LEGENDA

Sungai

Kelas Genangan

Keterangan

Kurang Rawan

Rawan

Sangat Rawan

Genangan Permanen

Batas Kecamatan Pesisir

KETERANGAN CITRA

Datum : WGS 1984

Proyeksi : UTM

Zone : 49-S

Sumber Peta : Citra Satelit
Landsat-7 ETM+
tahun 2009

DIBUAT OLEH

Regina Verra Santiara Y.P
3512 201 902

PEMBIMBING

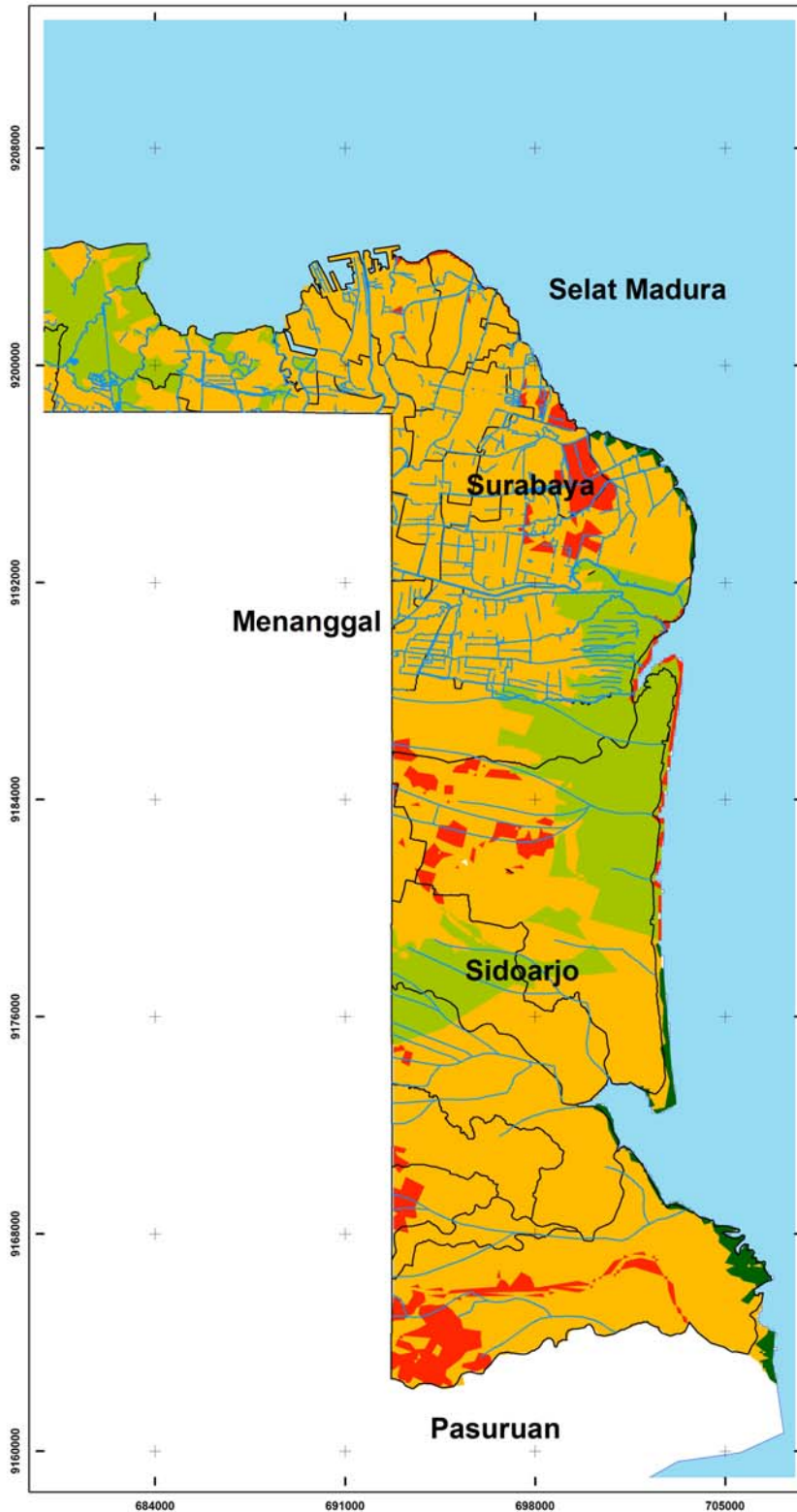
Prof.Dr.Ir. Bangun M.S, DEA, DESS
(19590124 198601 1001)

Erma Suryani, ST,MT,PhD
(19700427 200501 2001)

TANGGAL PEMBUATAN

17 Juli 2014

PETA DAERAH GENANGAN BERDASARKAN TINGKAT KERAWANAN KAWASAN PESISIR SURABAYA-SIDOARJO TAHUN 2013

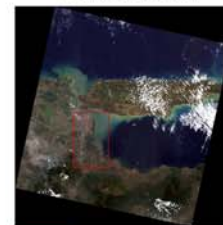


SKALA

0 1,500 3,000 6,000 9,000 m

1 : 150.000

PETA LOKASI



Daerah Penelitian

LEGENDA

— Sungai
□ Batas Kecamatan Pesisir

Keterangan

■ Kurang Rentan
■ Rawan
■ Sangat Rawan
■ Genangan Permanen

KETERANGAN CITRA

Datum : WGS 1984
Proyeksi : UTM
Zone : 49-S
Sumber Peta : Citra Satelit
Landsat 8
tahun 2013

DIBUAT OLEH

Regina Verra Santiara Y.P
3512 201 902

PEMBIMBING

Prof.Dr.Ir. Bangun M.S, DEA, DESS
(19590124 198601 1001)

Erma Suryani, ST,MT,PhD
(19700427 200501 2001)

TANGGAL PEMBUATAN

17 Juli 2014

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SURABAYA, JULI 2014

Biodata Penulis



Regina Verra Santiara Yahya Putri. Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 12 Oktober 1991, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara dari pasangan Lutfi Nur Yahya dan Harsah Kendarsih. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK YWKA Sidoarjo, SDN II Sidokumpul, SMPN 4 Sidoarjo, kemudian di SMAN 1 Wonoayu. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan kuliah S-1 dengan mengikuti program SNMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Geomatika-FTSP ITS pada tahun 2009. Penulis terdaftar dengan NRP 3509 100 029. Di Jurusan Teknik Geomatika, penulis memilih bidang kajian Penginderaan Jauh. Saat SMA penulis aktif di Kelompok Ilmiah Remaja (KIR), Kegiatan PMR dan Pramuka. Penulis juga menjadi Kandidat Olimpiade Biologi mewakili SMAN 1 Wonoayu dan Lomba pidato Bahasa Inggris. Penulis sangat menyukai tokoh kartun Jepang dan hal-hal yang berbau Jepang.

Di bangku kuliah aktif di organisasi kemahasiswaan HIMAGE dan pernah menjabat sebagai Staff Divisi Riset dan Teknologi 2010/2011 dan Ketua Divisi Riset dan Teknologi, HIMAGE 2011/2012. Selain itu penulis juga aktif mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD, LKMM TD serta aktif dalam kepanitiaan di tingkat jurusan dan fakultas. Penulis juga pernah mengikuti Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional 2010 mewakili Jurusan Teknik Geomatika di Universitas Mahasaraswati, Denpasar.

Penulis Kerja Praktek di PT. Pertamina Geothermal Energy. Penulis menyelesaikan program sarjana di ITS dengan mengambil Tugas Akhir bidang keahlian Penginderaan Jauh, meneliti tentang Analisis Potensi Fosfat Menggunakan Citra Satelit dan Metode Geolistrik (Studi Kasus : Kecamatan Saronggi, Kabupaten Sumenep, Provinsi Jawa Timur). Kemudian penulis menyelesaikan program magister di ITS dengan mengambil Tesis bidang keahlian Penginderaan Jauh, meneliti tentang Analisis Perubahan Pola Aliran Sungai dan Daerah Genangan di Pantai Surabaya-Sidoarjo menggunakan Citra Satelit Penginderaan Jauh.